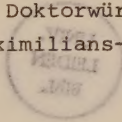


Aus dem Institut für Arbeitsphysiologie der
Technischen Universität München

Direktor: Prof. Dr. med. W. Müller-Limmroth

EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN ZUM ZUSAMMENHANG
ZWISCHEN MENTALER BELASTUNG UND INTEGRALER PULSVARIABILITÄT
SOWIE ZUR WIRKUNG DES PSYCHOPHARMAKONS KAVAIN
AUF DIE LEISTUNGSFÄHIGKEIT BEI MENTALER ARBEIT

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde
an der Ludwig Maximilians-Universität zu München



vorgelegt von

Georg Kell

aus Landshut

1977

Mit Genehmigung des Fachbereichs Medizin
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. W. Müller-Limmroth

Mitberichterstatter: Prof. Dr. K. Thureau

Dekan: Prof. Dr. med. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 14. 3. 1978



Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit
anfallenden Berechnungen wurden mit ei-
nem aus Mitteln der STIFTUNG VOLKSWAGENWERK
beschafften Prozeßrechner am Institut für
Arbeitsphysiologie der Technischen Univer-
sität München erstellt.

I N H A L T

	Seite
1. <u>Einführung</u>	1
2. <u>Beurteilung der Größenordnung der Belastung bei mentaler Arbeit</u>	4
2.1. Änderung von Stoffwechselgrößen	4
2.2. Operationelle Daten	4
2.3. Informationstheoretische Bestimmungen der Auslastung der bewußten Kanalkapazität des ZNS	6
2.4. Physiologische Parameter	8
2.4.1. Hautleitfähigkeit	9
2.4.2. Pupillenweite	9
2.4.3. Allgemeine Motorik	10
2.4.4. EEG und evoziertes Potential	11
2.4.5. Pulsrate und Pulsvariabilität	11
2.5. Psychologische Befragung	16
3. <u>Beurteilung des pharmakologischen Einflusses auf mentale Arbeit</u>	18
4. <u>Experimenteller Teil</u>	20
4.1. Methodik	20
4.1.1. Versuchsverfahren	20
4.1.2. Versuchsanordnung	22
4.1.3. Versuchsdurchführung	27
4.1.4. Versuchspersonen	31
4.1.5. Prüfungsmaterial	32
4.2. Untersuchung zum Einfluß des Psychopharmakons Kavain auf die Leistungsfähigkeit bei mentaler Arbeit	37
4.2.1. Versuchsergebnisse	37
4.2.1.1. Reaktionszeiten	37
4.2.1.2. Puls und Pulsvariabilität	49
4.2.1.3. Lesefehler	51
4.2.1.4. Fragebögen	55

	Seite
4.2.2. Diskussion	57
4.3. Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Pulsvariabilität und mentaler Belastung	63
4.3.1. Versuchsergebnisse	63
4.3.1.1. Reaktionszeiten	63
4.3.1.2. Pulsrate	63
4.3.1.3. Integrale Pulsvariabilität	74
4.3.1.4. Lesefehler	80
4.3.2. Diskussion	82
5. <u>Zusammenfassung</u>	88
6. <u>Literatur</u>	91

1. Einführung

Arbeitsphysiologie ist die Lehre von den Funktionen des menschlichen Körpers und seiner Organe bei der Arbeit (LEHMANN, 1961). Lange Zeit hat man sich fast ausschließlich mit der Analyse und der ergonomischen Beurteilung der physischen Komponente der Arbeitsleistung des Menschen beschäftigt. Es handelt sich dabei in erster Linie um die Belastung des motorischen und kardiovaskulären Systems, also um energetische Prozesse im Organismus (SCHMIDTKE, 1973). Diese rein physiologischen Parameter können mit Hilfe von Arbeits- und Erholungspuls recht gut beurteilt werden (LEHMANN, 1962; SCHMIDTKE, 1973; KRUEGER 1974).

Nun hat sich aber die Arbeitswelt grundlegend gewandelt. Die moderne Technologie, die Automatisierung und Rationalisierung überhaupt erst möglich machte, hat einen neuen Typ des Arbeitsplatzes mit sich gebracht. Der Mensch wird in verstärktem Maße dort gebraucht, wo seine Fähigkeiten zur Informationsaufnahme, Mustererkennung, Entscheidung und Planung nicht befriedigend durch technische Konstruktion ersetzt werden können (STRASSER et al., 1973). Immer mehr Arbeitsplätze beinhalten reine Überwachungs-, Kontroll- und Steuerungstätigkeiten, und die Trennung zwischen körperlich und geistig tätigen Menschen verliert zunehmend an Aussagekraft (SCHMIDTKE, 1973). In arbeits- wie auch in allgemeinmedizinischer Hinsicht bewirkt die wachsende physische Beanspruchung des Menschen, daß der Faktor "Streß" als Ursache für Gesundheitsschäden immer mehr Beachtung findet, während die Abnutzungerscheinungen durch körperliche Arbeit in den Hintergrund treten (MUELLER-LIMMROTH, 1972; KRUEGER, 1974).

All dies läßt die Forderung nach einem allgemeingültigen

Bewertungsmaßstab für die mentale Komponente der Arbeitsleistung laut werden. Es wurden auch schon große Anstrengungen in dieser Richtung unternommen (ETTEMA, 1967; KALSBEEK 1967; ROHMERT et al., 1973; STRASSER, 1973; MÜLLER et al., 1976), eine quantitative Abschätzung der Belastung durch mentale Arbeit ist aber dennoch erst in Ansätzen vorhanden. Die Analyse und Beurteilung von Beanspruchungssymptomen, die überwiegend von Funktionsänderungen im ZNS im Zusammenhang mit Aufgaben der Informationsaufnahme und -verarbeitung hervorgerufen werden, gestaltet sich sehr schwierig. Faktoren wie Intelligenz, Motivation, Talent, Übung und emotionale Aspekte spielen eine große, schwer quantifizierbare Rolle und führen in das Gebiet der psychologischen Forschung.

Eine umfassende und objektive Bewertung der durch mentale Arbeit bedingten Belastung muß die folgenden 4 Punkte berücksichtigen (ROHMERT & LUCZAK, 1973; KRUEGER, 1974):

a) Die Kenntnis der elementaren physiologischen und psychologischen Vorgänge, die einer mentalen Arbeit zugrunde liegen, gibt bereits deutliche Hinweise über Schwierigkeitsgrad und Komplexität dieser Arbeit. Ergebnisse und Erkenntnisse aus der Neurophysiologie, Neuroanatomie, Histologie, Neuropsychologie und aus der Psychophysik können das Problem von verschiedenen Seiten her beleuchten (Theoretische Analyse mentaler Arbeit).

b) Physikalische Parameter wie Beleuchtung, Schallpegel etc. bestimmen die äußeren Bedingungen eines Arbeitsplatzes und haben einen wesentlichen Einfluß auf die psychophysische Arbeitsleistung des Menschen (Ausführbarkeit mentaler Arbeit).

c) Der Einfluß von Motivationen, von subjektiver Einstellung, von emotionalen Aspekten sowie von Fragen wie nach der Zumutbarkeit für das Individuum sind Gegenstand der psychologischen Forschung. Objektive Meßmethoden versagen auf diesem

Gebiet, Ergebnisse können nur über die Befragung des Arbeitenden, also aus subjektiven Aussagen, erzielt werden (Psychische Beurteilung mentaler Arbeit).

d) Ein allgemeingültiges Bewertungskriterium für den Grad der Belastung bei mental-konzentrativer Tätigkeit gibt es bis jetzt noch nicht. In Ermangelung eines solchen Maßstabs versucht man, durch die gleichzeitige Registrierung von operationalen und physiologischen Meßgrößen sowie durch psychologische Befragungen eine objektive und differenzierte Aussage über die mentale Beanspruchung des Menschen zu gewinnen. Von den peripheren physiologischen Parametern, die bisher im Hinblick auf die mentale Belastung registriert wurden, sind insbesondere die Pulsrate und die Pulsvariabilität zu nennen. Neben der Beurteilung von Stoffwechselgrößen werden Anhaltspunkte auch durch informationstheoretische Bestimmungen im Zusammenhang mit der bewußten Verarbeitungskapazität des ZNS geboten (Beurteilung der Größenordnung der mentalen Belastung).

Die vorliegende Untersuchung hat das Ziel, den Zusammenhang zwischen Pulsvariabilität und mentaler Belastung zu untersuchen sowie einen möglichen Einfluß des Psychopharmakons Kavain auf die Leistungsfähigkeit bei mentaler Arbeit aufzudecken.

2. Beurteilung der Größenordnung der Belastung bei mentaler Arbeit

2.1. Änderung von Stoffwechselgrößen

Das Gehirn hat einen relativ hohen Stoffwechselanteil am Grundumsatz. Von dieser Grundlage ausgehend könnte man - wie im Bereich physischer Arbeit - versuchen, auch bei mentaler Arbeit die Änderungen von Stoffwechselgrößen zu messen. Die auftretenden Änderungen sind jedoch nur gering und mit den gebräuchlichen Meßmethoden nicht einmal eindeutig auf die erhöhte Aktivität des ZNS zurückzuführen (GÖPFERT et al., 1953). Diese Ergebnisse stellen die Hypothese, daß geistige Arbeit mit einer Zunahme der Stoffwechselaktivität verbunden ist, in Frage. Als Modell wäre auch durchaus denkbar, daß ungeordnete Denkvorgänge in geordnete übergeleitet werden, die Anzahl der tätigen Elemente aber gleich bleibt und der Energieverbrauch sich nicht oder nur unwesentlich erhöht (KRUEGER, 1974).

2.2. Operationelle Daten

Im Arbeits- und Berufsleben wird Arbeit, sei sie nun mehr körperlicher oder mehr geistiger Art, in erster Linie nach der erbrachten Leistung beurteilt. Auch in wissenschaftlichen Experimenten und Versuchen werden operationelle Daten, also Leistungswerte im Sinne der Erfüllung einer Aufgabe, gemessen und registriert. Eine umfassende Information über die mentale Beanspruchung des Arbeitenden^{*} bieten diese Werte jedoch nicht. Enthalten sie doch keinerlei Aussage darüber, mit welchem persönlichen Einsatz diese Leistungswerte erzielt wurden. Der Mensch ist ein adaptives System und kann sich bei guter Motivation, die im Experiment vorausgesetzt werden kann, bei kurzzeitigen Messungen leicht der Objektivierbarkeit entziehen (STRASSER, 1973). Trotz dieser Einschränkung kann auf die Registrierung von operationellen

Daten nicht verzichtet werden, denn zumindest ein Teilaspekt der mentalen Arbeit wird der objektiven Beurteilung zugänglich gemacht. In der spezifischen Situation des Arbeitsplatzes im Laboratorium können bei konstanten Randbedingungen die Versuchsbedingungen systematisch variiert werden bzw. bei vergleichenden Untersuchungen konstant gehalten werden. Der Schwierigkeitsgrad der Aufgabe kann mit dem Ziel der Untersuchung korreliert werden, wodurch Dauerleistungsgrenzen, Belastungsmaße unterhalb der Dauerleistungsgrenze, aber auch Maximalwerte der momentanen Leistung ermittelt und analysiert werden können. Nun ist aber jede Arbeit mit einer Ermüdung verbunden, einer reversiblen Leistungs- oder Funktionsminderung, die mit abnehmender Arbeitsfreudigkeit und mit einem zeitlichen Anstieg der Belastung bei konstanter Leistung einhergeht (ROHMERT & LUCZAK, 1973). Bei genauer Analyse der registrierten Leistungswerte kann eine Erschöpfung schon festgestellt werden, bevor wegen der Willenser müdung die Leistungskurve abfällt. Eine erste Stufe der Ermüdung läßt sich dadurch nachweisen, daß bei konstantem Mittelwert der Leistung die Streuung der Werte und auch die Zahl der Fehlleistungen zunehmen (ROHMERT & LUCZAK, 1973).

In der vorliegenden Untersuchung wurde von den Versuchspersonen das Erkennen von Buchstabenkombinationen gefordert, die für eine bestimmte Zeit angeboten wurden. Um den Arbeitserfolg beurteilen zu können, mußte in der Versuchspraxis der eigentliche Verarbeitungsprozeß mit einem Informationsausgabeprozeß gekoppelt werden, da eine Erfolgskontrolle der Informationsaufnahme und Kurzzeitspeicherung direkt am Speicherorgan Gehirn nicht möglich ist (KRUEGER, 1974). Als Ausgabeprozeß ist das laute Lesen gut geeignet. Die Ergebnisinformation wird dabei kortikal in ein motorisches Innervationsmuster umgesetzt, das Erfolgsorgan Sprechmuskulatur wird über das pyramidale und extrapyramidale

System erreicht. Sprechen und Lesen sind schon in der frühen Jugend erlernte elementare Verhaltensmuster und verlaufen größtenteils auf unbewußten Bahnen. Das Bewußtsein bleibt für andere Aufgaben frei, es treten auch keine Lernprozesse auf. Bei der Verarbeitung verbal codierter Information wird die Kehlkopfmuskulatur stets mitinnerviert, was auch beim lautlosen Lesen zu einem "inneren Sprechen" führt (LULLIES, 1972).

2.3. Informationstheoretische Bestimmungen der Auslastung der bewußten Kanalkapazität des ZNS

Die Abb. 1 zeigt einen schematischen Überblick über die Informationsflüsse im ZNS, die der Informationsaufnahme und dem Ausgabeprozess zwischengeschaltet sind (aus KRUEGER, 1974).

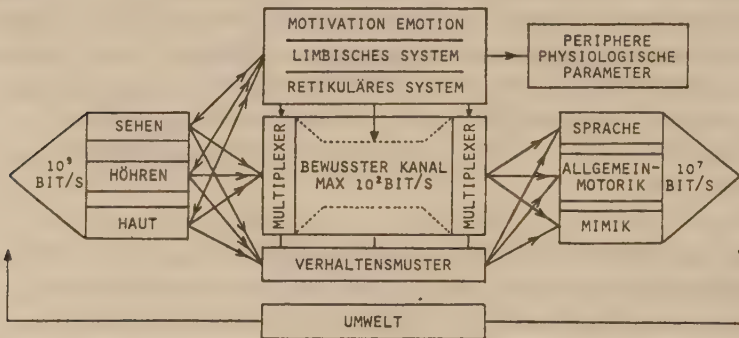


Abb. 1: Schematischer Überblick über die kortikalen Informationsflüsse

Danach werden maximal 10^9 bit/sec durch die verschiedenen Rezeptoren aus der Umwelt aufgenommen. Dieser Informationsfluß wird für die "bewußte" Bahn stark reduziert, die bewußte Kanalkapazität ist mit 10^2 bit/sec vergleichsweise sehr gering. Der Informationsfluß auf der Ausgabeseite wird

über Sprache, Motorik und Mimik an die Umwelt weitergegeben und beträgt maximal 10^7 bit/sec. Der größere Teil dieser Information kommt also über unbewußte Bahnen aus angeborenen oder erlernten Verhaltensmustern (KEIDEL, 1973). Die *Formatio Reticularis* im Hirnstamm sorgt für die Koordinierung und Umschaltung der einzelnen Informationsflüsse im ZNS auf die bewußte Bahn. Diese Funktionen sind im Schema durch einen Multiplexer angedeutet.

Über die prozentuale Auslastung der bewußten Kanalkapazität durch eine Aufgabe kann man theoretisch zu einer quantitativen Aussage über die mentale Belastung gelangen (KRUEGER, 1974). Bei der Doppelarbeitsmethode (BORNEMANN, 1942; BROWN & POULTON, 1961) wird die mentale Belastung indirekt dadurch gemessen, daß die Versuchsperson neben der eigentlichen Versuchsaufgabe eine Nebenaufgabe auszuführen hat, deren Ergebnis leicht quantifizierbar ist. Durch die Zusatzaufgabe kann bestimmt werden, wie groß der neben der Hauptaufgabe verbleibende Rest an bewußter Leistungskapazität ist. Guter Erfolg bei der Nebenaufgabe spricht für eine geringe Belastung durch die Hauptaufgabe und umgekehrt. Die Problematik dieses Ansatzes liegt in der Tatsache, daß die Größe der bewußten Kanalkapazität zwar bekannt ist (KEIDEL, 1973), es aber von dem Grad der Vigilanz abhängt, ob die gesamte Kapazität zur Verfügung steht. Die Bewußtseinslage oder der Wachheitsgrad wird von dem Retikulären System im Hirnstamm gesteuert, von dem im Wachzustand ein ständiger aktivierender Zustrom zum Großhirn stattfindet (Abb. 2).

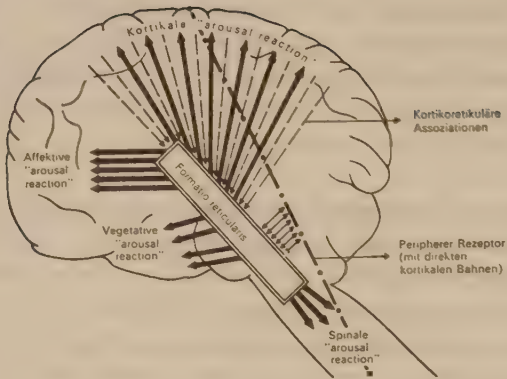


Abb. 2: Schema der Formatio reticularis (aus: MUELLER-LIMMROTH, 1972)

2.4. Physiologische Parameter

Der allgemeine Aktivitätspegel des Retikulären Systems steht in engem Zusammenhang mit dem Schlaf-Wach-Rhythmus des Organismus und ist von entscheidender Bedeutung für die Leistungsbereitschaft des Organismus (MUELLER-LIMMROTH, 1970). Optimale kortikale Arbeit ist dann möglich, wenn die Aktivität des RS neben der Steuerung durch den Schlaf-Wach-Rhythmus eine zusätzlich Stimulierung über sensorische Afferenzen erfährt (KRUEGER, 1974). Über die Aktivitätsänderung des RS müßte ein operationales Maß für die Belastung bei mentaler Arbeit entwickelt werden können. Die Formatio Reticularis ist für Messungen nicht ohne weiteres zugänglich, so daß man versucht, über die Messung anderer - von dem Aktivitätspegel des RS abhängiger - Parameter auf relativ

einfache Art zu verwertbaren Aussagen zu gelangen. Da eine enge Wechselbeziehung zwischen dem RS und dem Hypothalamus besteht, der den vegetativen Reflexzentren, wie z. B. dem Atem- und dem Kreislaufzentrum übergeordnet ist, liegt die Vermutung nahe, daß psychische und mentale Vorgänge von Veränderungen in den vegetativen Regelsystemen des Körpers, die im Dienste der Homöostase stehen, begleitet werden. Aktivitätsänderungen des RS könnten durch die recht einfache Registrierung peripherer Parameter verfolgt werden.

Vegetative Parameter, die als Indikator der mentalen Belastung in Frage kommen, sind die Pulsrate und ihre Variabilität, das Elektroencephalogramm und das evozierte Potential sowie die Pupillenweite und die Hautleitfähigkeit.

2.4.1. Hautleitfähigkeit

Die Hautleitfähigkeit bzw. der psychogalvanische Hautreflex kann relativ leicht an den sogenannten "psychischen Schweißdrüsen" gemessen werden, die an den Handflächen, den Fußsohlen, den Achselhöhlen und auf der Stirn liegen (ALLEN et al., 1973). Bei der tachistoskopischen Darbietung von optischen Mustern registrierte PATTON (1958) die Hautleitfähigkeit, die Pulsrate und die Atemfrequenz und konnte zwischen den Größen eine gute Übereinstimmung feststellen. Auch bei der Lösung von Rechenaufgaben konnte eine erhöhte Schweißsekretion festgestellt werden (ABRAM et al., 1973). Selbst Reize, die lediglich erwartet werden, tatsächlich aber ausbleiben, beeinflussen die Hautleitfähigkeit (EPSTEIN & CLARKE, 1970).

2.4.2. Pupillenweite

Ein empfindlicherer Indikator für psychische Belastung scheint die Pupillenweite zu sein (GOLDWATER, 1972), die

durch das vegetative Nervensystem reguliert wird. HESS & POLT (1960) untersuchten die Pupillenreaktionen bei der Ausführung von Multiplikationsaufgaben. Dabei stieg mit wachsender Aufgabenschwierigkeit auch die Größe der Dilation. Der Verlauf der Reaktionskurve zeigte jeweils kurz vor dem Auffinden der Lösung seinen Spitzenwert. Vor allem in der psychologischen Forschung spielt der Faktor Pupillenweite eine große Rolle. Allerdings werden durch die stets überlagerte Lichtreaktion und durch Akkommodationsschwankungen meßtechnische Schwierigkeiten verursacht (BOUMA & BBAGHUIS, 1971; PRATT, 1970; KRUEGER, 1968). Auch die Wirkung von Analgetika und von Psychopharmaka wurde schon durch algopupillometrische Messungen untersucht (LAUBER, 1967, 1973; MUELLER-LIMMROTH & SCHWALM, 1964).

2.4.3. Allgemeine Motorik

Der Grad der Aktivierung des RS findet auch seinen Niederschlag in den motorischen Systemen des menschlichen Körpers. Schon mehrmals wurde deshalb versucht, durch die Registrierung motorischer Reaktionen ein Maß für die mentale Belastung abzuleiten. ROLAND (1972) und SHERROD (1972) registrierten schnelle Augenbewegungen, die Lidschlagfrequenz wurde von TINKER (1946) und HOFFMAN (1946) untersucht. Letztere nimmt bei großer Belastung und bei Ermüdung zu. Neben der Untersuchung einzelner motorischer Systeme ist aber auch die Tatsache zu beachten, daß die gesamte tonisch-reflektorische Muskelanspannung ansteigt. Der dadurch erhöhte Energieverbrauch läßt sich auf die Muskeltonusänderung bei ausschließlich mentaler Belastung zurückführen (GÖPFERT et al., 1953). Dies ist auch der Grund, warum eventuelle Stoffwechsel-Änderungen des Gehirns bei mentaler Arbeit überlagert und einer objektiven Beurteilung entzogen werden.

2.4.4. Elektroencephalogramm und evoziertes Potential

Es liegt nahe, Aktivitätsänderungen des retikulären Systems in ihrem primären Projektionsgebiet, dem Cortex, zu messen. Die mittlere Amplitude des EEG kann als Maß für die Vigilanz herangezogen werden, das hauptsächlich bei der Untersuchung von Ermüdungs- und Schlafstadien Verwendung findet. Für die Beurteilung der mentalen Beanspruchung ist das evozierte Potential eher geeignet, das durch einen sensorischen Reiz in dem entsprechenden corticalen Projektionsfeld erzeugt werden kann. Dieser Reiz kann beispielsweise akustischer Natur sein, wie KLINGER (1972) ihn für seine Untersuchungen benutzte. Allerdings ist die einzelne Reaktion so gering, daß das Rauschen des EEG's sie überdeckt. Ergebnisse können dann erzielt werden, wenn die einzelnen evozierten Potentiale vielfach addiert werden und als Triggerreiz für die Addition das sensorische Signal selbst benutzt wird (KRUEGER, 1974).

2.4.5. Pulsrate und Pulsvariabilität

Bei dem Versuch, ein operationales Maß für mentale Belastung zu finden, kommt der Pulsvariabilität - bzw. dem analogen Begriff Sinusarrhythmie - eine immer größere Bedeutung zu. Es muß dabei besonders betont werden, daß eine scharfe Grenze gezogen werden muß zwischen pathologischen Erscheinungsformen der Arrhythmie wie Erregungs- und Leitungsstörungen und der physiologischen Pulsvariabilität, die den Arbeitsphysiologen interessiert. Aus diesem Grunde ist im folgenden auch immer der Begriff Pulsvariabilität gebraucht.

Natürlich kann die Pulsvariabilität nie isoliert von der Größe des Pulses, der Herzfrequenz, betrachtet werden. Zwischen beiden Größen besteht vielmehr ein ursächlicher Zusammenhang. Die Herzfrequenz wird reguliert durch das in

der Medulla Oblongata liegende Kreislaufzentrum und unterliegt sympathischen und parasympathischen Einflüssen. Das Kreislaufzentrum ist eines jener vegetativen Reflexzentren, denen der Hypothalamus übergeordnet ist und die im Dienste der Homöostase stehen. Die Herzfrequenz ist eine wesentliche Komponente bei der Regulation des arteriellen Blutdrucks sowie der Körpertemperatur (JÄNIG, 1972). Zentralnervöse Einflüsse modifizieren die Tätigkeit des Kreislaufzentrums, sind aber für dessen Funktionstüchtigkeit nicht unbedingt erforderlich (JÄNIG, 1972). Informationen aus der Peripherie erhält das Kreislaufzentrum über die Pressorezeptoren in der arteriellen Ausflußbahn des Herzens. Hauptsächlich über diesen Weg erfolgt bei mechanischer Arbeit die Mehrdurchblutung des motorischen Systems. Weitere Einflüsse nicht primär funktioneller Art sind die Atmung als Ursache der respiratorischen Arrhythmie sowie endogene zirkadiane Rhythmen, die dem mittleren Puls überlagert sind (KOEPCHEN, 1972; SAYERS, 1973). All diese Faktoren wirken sich natürlich auf die "Unregelmäßigkeit" des Pulses aus.

Angesichts dieser Tatsachen erscheint es mehr als schwierig, den Einfluß mental-konzentrativer Arbeit auf Pulsrate und Pulsvariabilität auszuloten. Zudem gibt es für den Begriff der Variabilität weder eine eindeutige Definition noch kann von einem einheitlichen Berechnungsverfahren die Rede sein. Bei OPMEER (1973) finden sich 26 verschiedene Definitionen für ein mögliches Variabilitätsmaß. Mit unterschiedlichen Berechnungsmethoden wurden unterschiedliche Ergebnisse erzielt (WARTNA et al., 1971). Als gesichert gilt, daß vom Kreislaufzentrum der Mittelwert des momentanen Pulses (Kardiotachogramm) festgelegt wird, der Verlauf des Kardiotachogramms jedoch mehr oder weniger um diesen Mittelwert schwankt. LUCZAK & LAURIG (1973) geben als Maß für die Variabilität des Kardiotachogramms den mittleren Wert der absoluten zeitlichen Differenzen zweier aufeinanderfolgender Impulse an. Die Pulsvariabilität kann also

durch die unterschiedliche Länge der Intervalle zwischen 2 aufeinanderfolgenden R-Zacken des EKG charakterisiert werden. In der vorliegenden Untersuchung wurden nach KRUEGER (1974) die absoluten Differenzen von je 2 aufeinanderfolgenden Intervallen über 30 s integriert und als Maß für die Pulsvariabilität verwendet.

Daß bei physischer Anstrengung die Herzfrequenz ansteigt, ist eine bekannte Tatsache. Ein dazu reziprokes Verhalten der Pulsvariabilität konnte von ROHMERT et al. (1973) nachgewiesen werden. Als Ursache dafür wäre ein bei hoher Pulsrate geringerer Spielraum für Unregelmäßigkeiten denkbar. Auch als Indikator der Belastung bei einer mental-konzentrativen Tätigkeit wurde die Pulsvariabilität inzwischen von einer großen Anzahl von Autoren untersucht. Die Ergebnisse sind allerdings recht unterschiedlich. BARTENWERFER (1960) sowie KALSBECK & ETTEMA (1963) waren die ersten, die auf einen Zusammenhang zwischen Herzrhythmik und Pulsvariabilität hinwiesen. Einen ähnlichen Zusammenhang wie bei physischer Arbeit - bei steigenden Anforderungen ansteigende Werte für die Herzfrequenz und sinkende für die Pulsvariabilität - fanden BLITZ et al. (1970), MULDER & MULDER-HAJONIDES van der MEULEN (1973), ROHMERT & LUCZAK (1973), LUCZAK & LAURIG (1973) und KALSBECK & ETTEMA (1973), wobei jedoch einige Einschränkungen gemacht werden mußten. MULDER & MULDER-HAJONIDES van der MEULEN (1973) verwendeten als Variabilitätsmaß die Zahl der Umkehrpunkte des Kardiotachogramms, das sehr stark mit der Atmung korreliert ist. BLITZ et al. (1970) konnten zwar mit Hilfe der Pulsvariabilität verschiedene Niveaus der mentalen Belastung unterscheiden, als genauerer Indikator erwies sich jedoch der Anstieg der Herzfrequenz. Eine erhöhte Pulsrate im Experiment kann durch die emotionale Beanspruchung der Versuchspersonen im Laboratorium hervorgerufen werden (ZWAGA, 1973; ROHMERT & LUCZAK, 1973). Auch die motorische Komponente der jeweiligen Arbeit muß berücksichtigt werden. Kleine Werte

für die Pulsvariabilität bei steigender Pulsrate können zwar auf ein reziprokes Verhalten zur Herzfrequenz, aber nicht zwingend auf die mentale Beanspruchung zurückzuführen sein. STRASSER (1974) weist auf den geringen Pulsanstieg bei mental-konzentrativer Tätigkeit wegen des geringen Energieverbrauchs hin und bezweifelt mit SAYERS (1973) die Pulsfrequenz als Indikator der mentalen Belastung.

Dasselbe gilt nach Untersuchungen anderer Autoren auch für die Pulsvariabilität. FIRTH (1973), SAYERS (1973) und ROHMERT & LUCZAK (1973) sehen in der Beurteilung der mentalen Belastung durch die Variabilität des Pulses die Gefahr der Unterschätzung einer Beanspruchung. ROHMERT & LUCZAK (1973) plädieren für Einzelmessungen, um bei Kenntnis der psychophysischen Leistungsvoraussetzungen des Individuums den Zusammenhang zwischen Variabilität des Pulses und der Konzentrationsbeanspruchung besser studieren zu können. Dafür spricht auch die Beobachtung, daß die Pulsvariabilität sehr viel größeren Schwankungen unterliegt als beispielsweise die Herzfrequenz. DANEV et al. (1971) sehen die Ursache dafür in psychologischen Metrika von mehr oder weniger großer emotionaler Labilität oder Stabilität und in psychiatrischen Bereichen. Auch das Alter ist in dieser Beziehung ein bedeutender Faktor (MULDER & MULDER-HAJONIDES van der MEULEN, 1972). CAILLE et al. (1967) untersuchten im Hinblick auf die Beziehung zwischen perzeptiver Belastung, Ermüdung und operationellen Kriterien das EEG und registrierten gleichzeitig das EKG. Dabei wurde unterschieden zwischen den Stadien der Hypovigilanz, einer Art Dämmerzustand mit bereits synchronisiertem EEG, der für die Leistungsbereitschaft des Organismus optimalen Vigilanz mit desynchronisiertem EEG und gleichmäßigem Herzrhythmus und einer Hypervigilanz, die durch desynchronisiertes EEG sowie Übererregbarkeitsmerkmalen wie Pulserhöhung und größeren Werten der Pulsvariabilität gekennzeichnet war. WARTNA et al. (1971) fanden bei ihren Versuchen zur Frage der mentalen Beanspru-

chung bei gleichbleibender Herzfrequenz einen signifikanten Abfall der Pulsvariabilität. Eine weitere Gruppe von Autoren (KALSBEEK & ETTEMA, 1963; KALSBEEK, 1967, 1973; ETTEMA, 1967; KALSBEEK & SYKES, 1967) kommen zu dem Ergebnis, daß die Pulsvariabilität mit gewissen Einschränkungen sehr wohl als Maß für die Beurteilung mentaler Arbeit herangezogen werden kann. Nach diesem Konzept wird wegen der steigenden mentalen Beanspruchung die persönliche Anstrengung größer und die Pulsvariabilität unterdrückt (KALSBEEK, 1967; ETTEMA, 1967). So konnten hochmotivierte und neutrale Versuchspersonen im Experiment unterschieden werden (KALSBEEK & SYKES, 1967). Während die neutralen Probanden den zur Erfüllung der gestellten Aufgaben nötigen Einsatz aufbrachten, erzielten die hochmotivierten Probanden durch sehr großen Arbeitseinsatz und gleichmäßige Unterdrückung der Variabilität niedrigere Werte der Pulsvariabilität. Es ist eine bekannte Tatsache, daß physiologische Systeme nicht an ihrer maximalen Kapazität arbeiten, sondern immer eine gewisse Reservekapazität für Fälle mit höheren Anforderungen zur Verfügung haben. Eine Hypothese von KALSBEEK (1973) besagt, daß die Pulsvariabilität den Betrag dieser Reservekapazität angibt. Eine vollständige Unterdrückung kann nur für sehr kurze Zeit gelingen (ca. 3 min). Die Pulsvariabilität könnte nach diesem Konzept als Indikator der Belastung eines Individuums proportional zu seiner Kapazität angesehen werden. KALSBEEK (1973) stellt jedoch gleichzeitig fest, daß die allgemeine Gültigkeit dieses Konzepts eingeschränkt sein muß, da den Begriffen "Pulsvariabilität" und "mentale Belastung" sehr komplexe physiologische Abläufe zugrunde liegen, die keineswegs eindeutig definiert werden können.

Nach den bisherigen Ergebnissen erscheint es fraglich, ob die Variabilität des Pulses als allgemeingültiges operationales Maß für die Belastung bei mental-konzentrativer Tätigkeit angesehen werden kann. Es wäre denkbar, daß der menschliche Organismus bei mentaler Arbeit besonders lei-

stungsfähig ist, solange es ihm gelingt, die Pulsvariabilität gleichmäßig zu unterdrücken. Dies müßte sich beispielsweise in Prüfungssituationen zeigen lassen, wo die Motivation und der persönliche Einsatz enorm hoch sind. Die Belastung durch mentale Arbeit wird aber auch dann sehr groß, wenn die Konzentrationsfähigkeit durch Ermüdung oder psychologische Ursachen nachläßt. Die Pulsvariabilität ist durchaus nicht unabhängig von Einflüssen psychologischer Art (DANEV, 1971), und es erscheint zweifelhaft, ob Ermüdungserscheinungen und nachlassende Motivation in niedrigen Werten der Pulsvariabilität signalisiert werden.

Wenn die Pulsvariabilität auch noch nicht als operationales Maß für die mentale Belastung gelten kann, sollte doch die Registrierung von Pulsfrequenz und -variabilität im Zusammenhang mit anderen Meßgrößen einen guten Beitrag zur Beurteilung der Größenordnung der mentalen Belastung abgeben können.

2.5. Psychologische Befragung

Ein schwer kontrollierbarer Faktor, der die Größe der Belastung bei mental-konzentrativer Tätigkeit stark beeinflusst, liegt in der Psyche des Arbeitenden. Die psychophysischen Leistungsvoraussetzungen des einzelnen im Verhältnis zu den Anforderungen der Tätigkeit, seine Motivation und auch emotionale Faktoren sind schwer abzuschätzen. Eine entscheidende Rolle spielt die Motivation, von der die Leistungsbereitschaft wesentlich abhängt. Bei Blockierung der Motivation kann eine mentale Tätigkeit, die bei guter Motivation deutlich unterhalb der Dauerleistungsgrenze anzusetzen ist, unerträglich werden. Auch negative Emotionen können die individuelle Dauerleistungsgrenze unter die geforderte Arbeitsleistung sinken lassen. Dem Menschen können nur Belastungsmaße unterhalb der Dauerleistungsgrenze zugemutet werden, wenn gesundheitliche Schäden wie nervöse

Herzbeschwerden, Kreislaufstörungen, vegetative Dystonien, nervöse Darmstörungen, stressbedingte Neurosen und exogene Psychosen vermieden werden sollen (LEVI, 1964; ALEXANDER, 1972; MUELLER-LIMMROTH, 1972; KRUEGER, 1974).

Diese rein subjektiven Kriterien entziehen sich den objektiven Meßmethoden und können nur durch Befragung der tätigen Personen bzw. durch psychologische Testverfahren beurteilt werden (KRUEGER, 1974). Diese Verfahren mögen zwar im Zusammenhang mit naturwissenschaftlicher Meßtechnik ungenau und störanfällig erscheinen, Aussagen über diese Größen können aber nur auf diesem Weg erzielt werden.

3. Beurteilung des pharmakologischen Einflusses auf mentale Arbeit

Neben der Frage, wie mental-konzentrierte Tätigkeit beurteilt und die Größenordnung der mentalen Belastung eingestuft werden kann, ist auch von großer Bedeutung, ob dämpfende oder aktivierende Substanzen, wie z. B. die Genussmittel Kaffee und Tee oder auch Psychopharmaka, einen Einfluß auf mentale Arbeit ausüben und ob dieser Einfluß zu einer Steigerung oder Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit führt. Bei der Beantwortung dieser Frage kann prinzipiell nach den angegebenen Bewertungskriterien für mentale Arbeit vorgegangen werden. Es können aber auch relative Unterschiede zwischen der Leistungsfähigkeit unter Einfluß eines Pharmakons und der ohne Einfluß dieser Substanz erbrachten Leistung ein befriedigendes Ergebnis liefern. Damit keine Verfälschungen der Ergebnisse durch Placebo-Effekte auftreten können, wird meist eine Versuchsserie mit Placebo einer weiteren Versuchsserie mit Verum im Doppelblindversuch gegenübergestellt. Der theoretischen Analyse der mentalen Arbeit kommt in diesem Zusammenhang keine entscheidende Bedeutung zu, da bei der vergleichenden Untersuchung Verum-Placebo jeweils dieselbe Tätigkeit verlangt wird, der Schwierigkeitsgrad sich also nicht ändert. Der Arbeitsplatz im Laboratorium bietet zudem die Möglichkeit, bei konstanten Randbedingungen die Versuchsbedingungen systematisch zu verändern bzw. konstant zu halten. Der Grad der Ausführbarkeit der Tätigkeit kann im Experiment getestet werden und während der eigentlichen Untersuchung beibehalten werden. Die Auswertung reduziert sich somit auf die Beurteilung der Größenordnung der mentalen Belastung und auf die psychische Beurteilung der mentalen Arbeit. Da es noch kein allgemeingültiges Bewertungskriterium für mentale Arbeit gibt, können keine quantitativen Daten über den Einfluß eines Pharmakons ermittelt werden. Die Fragestellung lautet, ob die psychophysische Leistungsfähigkeit verbessert

oder verschlechtert wird bzw. ob die gleiche Leistung mit verminderter oder erhöhter Anstrengung einhergeht.

Die umfassende Beurteilung eines Pharmakons läßt sich allerdings praktisch kaum verwirklichen, da dafür eine sehr große Anzahl von Untersuchungen nötig wäre. Dazu kommt noch, daß experimentelle Untersuchungen im Labor für die Probanden im allgemeinen eine Ausnahmesituation darstellen, die eine gute Motivation gewährleistet. Streng genommen kann die Wirkung eines Pharmakons nur jeweils für die Bedingungen eines bestimmten Arbeitsplatzes untersucht werden. Man muß sich deshalb im Experiment darauf beschränken, einige wichtige Teilaspekte mentaler Arbeit auszuwählen und zu untersuchen, die für verschiedene Arbeitsplätze in der Praxis relevant sind (KRUEGER & MUELLER-LIMMROTH, 1975). Schnell durchgeführte Mustererkennungsprozesse und die Bedienung von Tasten auf äußere Signale hin werden dem Menschen in der heutigen Arbeitswelt routinemäßig abverlangt. Man denke dabei nur an eine Tätigkeit im Büro oder am Steuer eines Kraftfahrzeugs. Aus diesem Grunde erschien es sinnvoll, einen Laboratoriumsmeßplatz aufzubauen, an dem motorische Reaktionen und Mustererkennungsprozesse als operationale Daten gemessen werden können. Die gleichzeitige Registrierung von physiologischen Parametern erlaubt Aussagen über die mentale Belastung im Experiment. Durch die Registrierung der Pulsvariabilität gelang es KALSBECK & SYKES (1967), hochmotivierte und neutrale Probanden voneinander zu unterscheiden. Durch dieses Konzept und natürlich auch durch die Erfassung subjektiver Kriterien mit Hilfe von Fragebögen kann ein Hinweis über die psychischen Leistungsvoraussetzungen gegeben werden, der neben den operationalen Daten weitere wertvolle Informationen liefert.

4. Experimenteller Teil

4.1. Methodik

4.1.1. Versuchsverfahren

Ziel der Versuche war, einen möglichen Einfluß des Psychopharmakons Kavain auf die Leistungsfähigkeit bei mentaler Arbeit aufzudecken sowie den Zusammenhang zwischen Pulsvariabilität und mentaler Belastung zu untersuchen. Als operationale Daten wurden im Experiment motorische Reaktionszeiten und mentale Verarbeitungszeiten gemessen. Als Testreiz für die motorische Reaktion fungierte ein akustisches Signal, auf das hin möglichst schnell ein Fußpedal betätigt werden sollte. Für den visuellen Mustererkennungsprozeß waren es Kombinationen aus statistisch aneinandergereihten Buchstaben, die für kurze Zeit dargeboten wurden. Zur Beurteilung des Arbeitserfolges mußte der eigentliche Verarbeitungsprozeß mit einem Informationsausgabeprozess gekoppelt werden, wozu wegen der bereits genannten Gründe (S. 5) das laute Lesen ausgewählt wurde. Neben den Lesefehlern wurden als physiologische Parameter das Elektrookulogramm (EOG) und das Elektrokardiogramm (EKG) registriert. Beim EKG wurde das Gewicht auf die Herzfrequenz und auf die Puls-zu-Puls-Variabilität gelegt.

Die Versuchsserie bestand aus 2 Teilen. Erstens wurde bei den Versuchen zur Wirkung des Psychopharmakons Kavain die Frequenz der Testreize, die Anzahl der dargebotenen Buchstaben und auch die Darbietungszeit der Buchstabenarrays nicht verändert. Subjektive Eindrücke über die Wirkung des Medikaments wurden durch Fragebögen festgehalten. Im zweiten Teil - bei den Experimenten zur Ermittlung des Zusammenhangs zwischen Pulsvariabilität und mentaler Belastung - wurde versucht, verschiedene Niveaus der mentalen Belastung zu simulieren, um ein eventuell systematisches Verhalten

der Pulsvariabilität damit korrelieren zu können. Dies wurde einmal durch Erhöhung der Frequenz der Testreize, zum anderen durch die Änderung der Buchstabenanzahl pro Testzeichen erreicht. Vorausgesetzt wird dabei, daß höhere Leistungsanforderungen mit einem höheren Niveau der mentalen Belastung einhergehen.

Die Zeit, die von der Darbietung eines Testzeichens bis zu dessen lauter Wiedergabe vergeht, ist ein gutes Maß für die Dauer der Verarbeitungszeit. Sie ist der Perzeption des visuellen Musters, der Abstraktion von Merkmalen, dem Erkennen der Buchstaben und der Auslösung der verbalen Benennung zuzuordnen (MUELLER-LIMMROTH & KRUEGER, 1975). Die Verarbeitungszeit steigt mit dem Komplexitätsgrad des Musters an und sinkt mit der Möglichkeit zur Parallelverarbeitung. Außerdem hängt sie stark von dem Grad der Aufmerksamkeit ab (CORNSEWET, 1971; REED, 1973; KRUEGER, 1974). Bei einer Darbietungszeit von 5 - 10 ms beträgt die Erkennungswahrscheinlichkeit für einen Buchstaben ca. 50 % (KRUEGER, 1974). Eine Kombination aus 3 Buchstaben kann bei einer Darbietungszeit von 25 ms mit hoher Wahrscheinlichkeit richtig erkannt werden. Der primäre Sehspeicher verblaßt sehr schnell in den ersten 250 - 500 ms und dann langsamer bis zu 3 s (SPERLING, 1960). Interferenzen aufeinanderfolgender Bilder sind also bei einem minimalen Darbietungsabstand von 3 s nicht zu erwarten.

Die Verarbeitung visueller Muster ist naturgemäß ein komplizierterer Vorgang als eine motorische Reaktion, bei der ein sensorisches Eingangssignal in ein motorisches Innerervationsmuster umgesetzt wird. Dieser Sachverhalt drückt sich auch in einer gegenüber der motorischen Reaktionszeit wesentlich längeren mentalen Verarbeitungszeit aus.

4.1.2. Versuchsanordnung

Abb. 3 zeigt einen Überblick über die Versuchsanordnung. Die Versuchsperson sitzt vor einem Lesepult mit weißer Fläche. Der Kopf ist mit einer Stirnstütze fixiert, wodurch ein konstanter Abstand vom Lesepult gewährleistet ist. Die Akkomodation sowie die Konvergenzeinstellung des Auges ändert sich deshalb im Versuch nicht. Die Neigung des Pultes beträgt 38° zur Horizontalen und ermöglichte eine besonders bequeme Lesehaltung des Kopfes mit gesenkter Blicklinie. Die weiße Pultfläche hat eine Breite von 68° und eine Höhe von 62° . Der Leseabstand betrug ca. 38 cm. In der Mitte des Pultes befand sich ein mit einem weißen Verschluss verdecktes Fenster ($75' \times 93'$), in dem die Testzeichen dargeboten wurden. Die Testzeichen waren aus jeweils 5 statistisch aneinandergereihten Großbuchstaben ohne Endstriche (IBM-Kugelkopf, Typ Orator) aufgebaut. Ca. 650 solcher Kombinationen waren auf einen Lochstreifen aufgezeichnet, der mit Hilfe eines Schrittmotors an dem Fenster

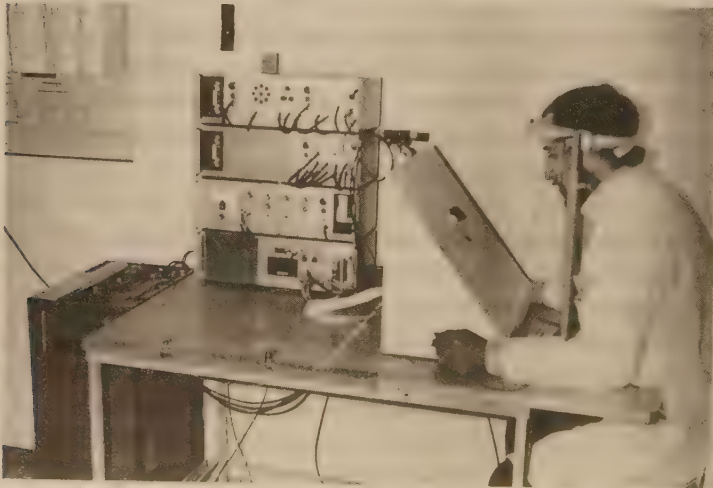


Abb. 3: Versuchsanordnung

vorbeitransportiert werden konnte. An der Stirnstütze war eine zusätzliche Lichtquelle angebracht, die Leuchtdichte im Bereich des Fensters betrug 112 cd/m^2 . Das Fenster hatte eine variable Breite, so daß Kombinationen aus einer verschieden großen Anzahl von Buchstaben (1 - 5) dargeboten werden konnten.

Einen Überblick über den Versuchsablauf gibt die Abb. 4, in der die Signalfolge während des Versuchs schematisch wiedergegeben ist. Auf einen akustischen Reiz hin sollte der Proband möglichst rasch ein Fußpedal betätigen. Die Zeitdifferenz zwischen Reizbeginn (Spur 2) und Reaktionsbeginn (Spur 3) wurde als motorische Reaktionszeit RT 1 gemessen (Spur 6). 100 ms nach dem Auslösen des Fußschalters erfolgte die Darbietung des Testzeichens für 25 (bzw. 40) ms. Die Zeitdifferenz vom Beginn der Testzeichendarbietung (Spur 4) bis zum ersten in das Mikrophon gesprochenen Buchstaben (Spur 5) wird gemessen als mentale Verarbeitungszeit RT 2 (Spur 6).

Der Versuch wurde automatisch gesteuert, und die Ergebnisse wurden auf Band gespeichert. Ein Schema der Versuchsanordnung zeigt die Abb. 5, die logischen Verknüpfungen der Funktionslogik sind der Abb. 6 zu entnehmen. Die Triggersignale der automatischen Versuchssteuerung wurden von einem 7 Kanal Analog-Bandspeicher geliefert.

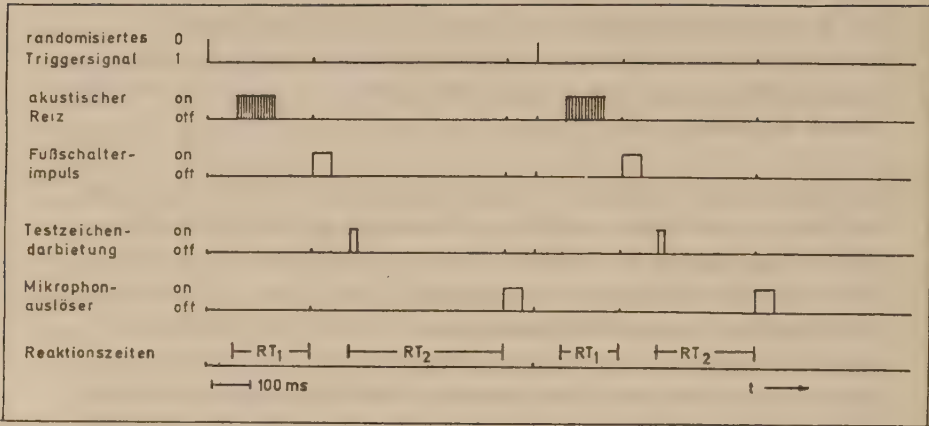


Abb. 4: Signalfolge während des Versuchs

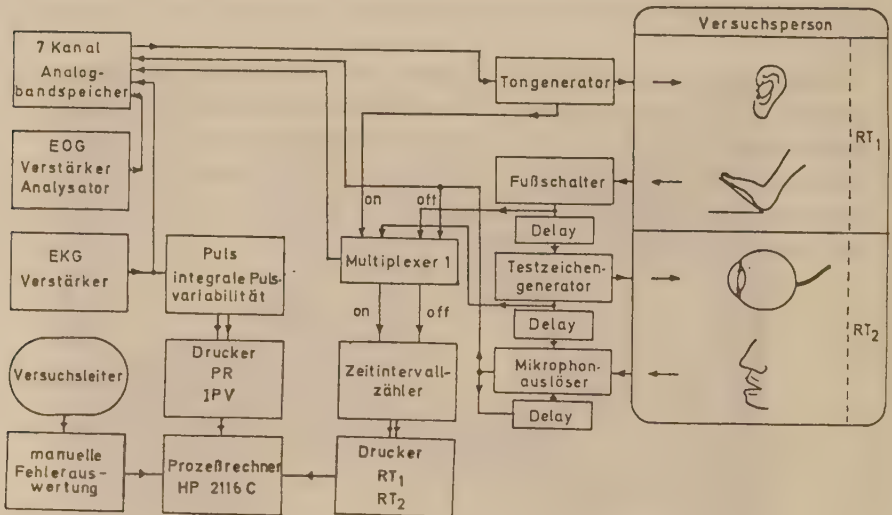


Abb. 5: Schema der Versuchsanordnung

- auch auf dem Magnetband - markierte. Das Fußschalter-signal schaltete mit einer Verzögerung von 100 ms den Testzeichengenerator ein. Dieser öffnete für eine bestimmte Zeit den Verschuß des Fensters, wodurch das Testzeichen für die Versuchsperson sichtbar wurde, und markierte auf dem Magnetband durch den Testzeichenimpuls den Beginn der mentalen Verarbeitungszeit RT 2. Mit einer Verzögerung von 200 ms gab der Testzeichengenerator den Mikrophonauslöser frei. Der erste laut gesprochene Buchstabe ergab einen Impuls auf dem Magnetband, der das Ende von RT 2 markierte, und schaltete Fußschalter und Mikrophonauslöser für den nächsten Durchgang aus. Über einen Zeitintervallzähler konnten die Reaktionszeiten direkt in den Prozeßrechner eingespielt und der weiteren Auswertung zugeführt werden.

Als physiologische Parameter wurden das Elektrookulogramm, die Pulsrate und die Puls-zu-Puls-Variabilität registriert. Das EOG wurde mit 3 Elektroden, je einer an beiden Schläfen und einer indifferenten Nullelektrode auf der Stirn ermittelt. Die Potentialdifferenz der beiden temporalen Elektroden ist ein Maß für die Blickrichtung. Durch einen eigenen Analysator wurde das EOG sofort auf Nulldurchgänge der Spannung ausgewertet und das Ergebnis auf Band aufgezeichnet. Mit einem Zähler wurden dann nach dem Versuch die Zahl der raschen Augenbewegungen pro 30 s ermittelt. Das EOG wurde allerdings nicht weiter ausgewertet, da es zum Teil fehlerhaft registriert wurde, und bleibt im folgenden unberücksichtigt. Das EKG wurde durch 2 Elektroden über der vorderen Brustwand abgeleitet, also durch bipolare Ableitung über dem Maximalwert des elektrischen Vektors. Die Pulsrate wurde über das EKG für jeweils 30 s ermittelt. Als Triggersignal für den Pulszähler und für die anschließende Berechnung der Pulsvariabilität wurde der Maximalwert der Anstiegssteilheit der R-Zacke ($\text{Max}(\frac{dU}{dt})$) verwendet. Der Abstand zweier benachbarter R-Zacken führt über den momentanen Puls zur Pulsvariabilität, für die es die unterschiedlichsten Berechnungs-

verfahren gibt. Hier wurde die Integrale Pulsvariabilität (IPV) nach folgendem Berechnungsmodus ermittelt:

$$IPV = \text{const.} \times \int_0^{30} |\Delta \text{TRR}| dt$$

Die Konstante ist eine willkürliche Größe, TRR ist der Abstand zweier aufeinanderfolgender R-Zacken in ms, und ΔTRR ist die Differenz von 2 aufeinanderfolgenden Werten von TRR. Das Integral wurde über 30 s berechnet. Die Werte für Pulsrate und IPV wurden sofort ausgedruckt.

4.1.3. Versuchsdurchführung

Jede Versuchsperson hatte 6 Versuche zu absolvieren. Vor der Versuchsserie wurden die Probanden in einem Vorversuch trainiert und an die Versuchsbedingungen adaptiert. Da die Versuche zum Einfluß von Kavain auf die Leistungsfähigkeit bei mentaler Arbeit als Doppelblindstudie im Cross-over-Verfahren durchgeführt wurden, teilte sich die Versuchsserie in 2 Abschnitte. Verglichen wurde Kavain (200 mg pro Kapsel) bei einer Dosierung von 2 x 1 Kapsel pro die nach einwöchiger Medikation gegen Placebo in gleicher Dosierung.

Abb. 7 zeigt den Versuchsplan, in dem zwischen

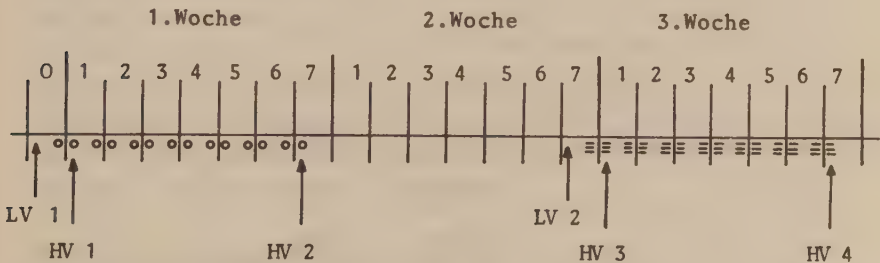


Abb. 7: Versuchsplan

LV: Leerversuch (keine Medikation)

HV: Hauptversuch (nach Einnahme von Kavain bzw. Placebo)

1. Woche: Einnahme der Kapseln mit dem Symbol $\circ$

2. Woche: keine Einnahme von Medikamenten

3. Woche: Einnahme der Kapseln mit dem Symbol $\equiv$

Haupt- und Leerversuchen unterschieden wird. Die Hauptversuche wurden nach ein- bzw. siebentägiger Einnahme von Verum oder Placebo durchgeführt und dienten der Untersuchung der Wirkung von Kavain auf die mentale Leistungsfähigkeit. Die Leerversuche fanden ohne vorherige Kapsel-einnahme statt. Sie sollten den Zusammenhang zwischen der Integralen Pulsvariabilität und verschiedenen Niveaus der mentalen Belastung aufdecken. Zur Kennzeichnung des Prüfungsmaterials dienten die Kreisfigur und der dreifache Querstrich der Abb. 7. Jeder Proband begann die Versuchsserie mit den Kapseln, die durch die Kreisfigur gekennzeichnet waren. Nach einer Woche ohne Medikation wurden die Kapseln eingenommen, die mit dem dreifachen Querstrich charakterisiert waren. Das Prüfungsmaterial war randomisiert. Für die eine Hälfte der Versuchspersonen ergab sich bei der Kapsel-einnahme die Reihenfolge Verum-Placebo, die andere Hälfte begann mit der Einnahme von Placebo. Die Abb. 8 zeigt den Randomisierungscode:

PROBAND NR.	SERIE 1: ○	SERIE 2: ≡
1	Verum	Placebo
2	Placebo	Verum
3	Verum	Placebo
4	Verum	Placebo
5	Placebo	Verum
6	Placebo	Verum
7	Placebo	Verum
8	Verum	Placebo
9	Placebo	Verum
10	Verum	Placebo

Abb. 8: Randomisierungscode des Prüfungsmaterials

Die Probanden wurden nach der Ordnung ihrer freiwilligen Meldung in den Versuch eingereiht. Nach dem ersten Leerversuch (LV 1) wurde mit der Medikation begonnen. Jede Versuchsperson nahm 7 Tage lang morgens und abends je eine Kapsel (Symbol •) ein. Nach einem und nach sieben Tagen wurde jeweils eine Stunde nach der Kapseleinnahme der 1. und 2. Hauptversuch (HV 1, HV 2) durchgeführt. Am Ende der Woche ohne Medikation war der 2. Leerversuch angesetzt, und noch am Abend desselben Tages begannen die Probanden mit der Einnahme der Kapseln der 2. Serie (Symbol ≡). Am 1. und 7. Tag dieser Woche wurden die Hauptversuche 3 und 4 (HV 3, HV 4) durchgeführt.

Alle Versuche bestanden aus 3 Abschnitten. In der ersten Versuchsphase wurde 5 min lang der Ausgangspuls und die zugehörige Pulsvariabilität registriert. Die zweite Phase war die eigentliche Versuchszeit mit der Messung der motorischen Reaktions- und der mentalen Verarbeitungszeit. Die Probanden waren angehalten, auf das akustische Signal möglichst schnell den Fußschalter zu betätigen und nach der kurzzeitigen Darbietung des Testzeichens im Sinne der "erzwungenen Wahl" möglichst rasch laut zu antworten. Die Antworten wurden vom Versuchsleiter kontrolliert und Lesefehler sofort registriert. In der dritten Versuchsphase wurde nochmals 10 min lang die Pulsrate und die Integrale Pulsvariabilität registriert, die natürlich auch während der eigentlichen Versuchszeit gemessen wurden. Während der gesamten Versuchszeit wurde außerdem noch das Elektrokulogramm auf Magnetband aufgezeichnet.

Der Ablauf der Hauptversuche war völlig identisch, kein Versuchsparameter wurde geändert. 45 min lang wurden bei einem mittleren Signalabstand von 5 s als Testzeichen Kombinationen aus 3 Buchstaben dargeboten, das sind 12 Darbietungen/min. Die Darbietungszeit war 25 ms. Im Gegensatz dazu wurden bei den Leerversuchen die Leistungsanforderungen durch die

Änderung jeweils eines Parameters variiert. Im 1. Leer-
versuch war dieser Parameter die Anzahl der Darbietun-
gen/min. Jewils für 2 x 5 min war der mittlere Signalab-
stand 5 s; 4 s; 3,5 s; 3 s; 2,5 s. Dabei wurden die Sig-
nale nicht rhythmisch mit einem konstanten Abstand von X
s abgegeben. Vielmehr waren die Zeitabstände zwischen den
Signalen in dem Bereich $X \pm 1$ s mit einem Häufigkeitsma-
ximum bei X s statistisch verteilt. Dadurch wurde verhin-
dert, daß die Versuchspersonen sich auf einen gleichmäßi-
gen Takt einstellen konnten. Als Darbietungsfrequenzen
ergeben sich 12, 15, 17, 20 und 24 Darbietungen/min. Die
"Arbeitszeit" im Versuch betrug 50 min, das Testzeichen
(3 Buchstaben) und die Darbietungszeit (25 ms) waren ge-
genüber den Hauptversuchen unverändert. Die Variable im
2. Leerversuch war die Anzahl der Buchstaben, die als vi-
suelles Testzeichen dargeboten wurden. Für jeweils 2 x 5
min dienten Kombinationen aus 2, 3, 4 und 5 Buchstaben als
Testzeichen. Da der Lochstreifen mit Kombinationen aus 5
Buchstaben beschriftet war, konnte dies durch Verstellen
der Fensterbreite recht einfach realisiert werden. Die ei-
gentliche Versuchszeit war 40 min, als geeignete Darbie-
tungszeit wurde in Vorversuchen eine Zeit von 40 ms ermit-
telt. Der Signalabstand betrug wie bei den Hauptversuchen
durchschnittlich 5 s, was 12 Darbietungen/min ergibt. Um
eventuell auftretende Ermüdungseffekte bei der Auswertung
eliminieren zu können, waren die beiden Leerversuche ge-
gensinnig aufgebaut. Jeweils in der ersten Hälfte des Ver-
suchs wurden die Leistungsanforderungen graduell erhöht,
um sie in der zweiten Hälfte des Versuchs wieder entspre-
chend senken zu können. Im zeitlichen Ablauf von LV 1 wur-
den je 5 min 12, 15, 17, 20, 24, 24, 20, 17, 15 und 12 Test-
zeichen pro Minute dargeboten, im zweiten Leerversuch be-
standen die Testzeichen aus 2, 3, 4, 5, 5, 4, 3 und 2 Groß
buchstaben.

Da die Probanden in einem Vorversuch trainiert wurden, die Zahl der angebotenen verschiedenen Buchstabenkombinationen sehr groß war und die Versuchspersonen keinerlei Information über ihren Leseerfolg erhielten, konnten Lerneffekte mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden. Wegen der erheblichen tageszeitlichen Schwankungen, denen die Leistungsbereitschaft des Menschen unterliegt (SCHMIDTKE, 1965), wurden alle Versuche zur gleichen Tageszeit durchgeführt. Die Hauptversuche fanden in der Zeit von 8.00 Uhr bis 11.00 Uhr statt, die Leerversuche in der Zeit von 11.00 Uhr bis 13.00 Uhr.

Die Versuchspersonen füllten vor der gesamten Versuchsserie einen Fragebogen aus, der die notwendigen Angaben zu Person und Anamnese enthielt. Vor jedem Versuch wurde ein Fragebogen ausgefüllt, in dem nach dem System des rating scale Angaben zur jeweiligen Reaktionslage als auch zu eventuellen Beschwerden bzw. Nebenwirkungen gemacht werden mußten.

4.1.4. Versuchspersonen

Als Versuchspersonen stellten sich zehn männliche Studenten zur Verfügung. Sie nahmen freiwillig an den Versuchen teil. Ein Entgelt erhielten sie erst nach Absolvierung der gesamten Versuchsserie. Das Lebensalter der Probanden betrug 22, 22, 22, 23, 23, 23, 24, 25, 27 und 29 Jahre, das durchschnittliche Alter der Probanden war also 24 Jahre.

Alle Versuchspersonen waren dem Versuchsleiter persönlich bekannt, die Motivation konnte als gut beurteilt werden. Es wurde darauf geachtet, daß bereits am Vortag kein Alkohol mehr getrunken wurde. Die Probanden nahmen während der Versuchszeit außer dem Untersuchungsmaterial keine anderen Medikamente ein. Ihr Sehvermögen war normal bzw. voll korrigiert. Organische Leiden lagen nach den Ergebnisse der Anamnese nicht vor.

4.1.5. Prüfungsmaterial

Im Doppelblindversuch wurde das Psychopharmakon Kavain gegen Placebo verglichen. Kavain ist Hauptwirkstoff der Kava-Droge (*Piper methysticum*), die von den Eingeborenen Ozeaniens jahrhundertlang - meist rituell - benutzt wurde, um sich in einen Zustand behaglicher Ruhe zu versetzen. Die gesuchte Wirkung lag in der Dämpfung von Angst- und Spannungszuständen sowie in einer Psychostimulation (KRETSCHMER, 1970). Lange wurde die Kava-Droge fälschlich als Rauschdroge angesehen. Mittlerweile sind die Einzelbestandteile der Kava-Pflanze isoliert und das Wirkungsprofil pharmakologisch herausgearbeitet. Die pharmakologisch wirksamen Verbindungen, die aus der Wurzel der Kava-Pflanze isoliert wurden, sind stickstofffreie aromatisch substituierte 6-gliedrige Laktone, die sogenannten Kava-Pyrone. Die wichtigsten Verbindungen sind Kavain, Dihydrokavain, Methysticin, Dihydromethysticin und Yangonin. Mit Ausnahme des Yangonin sind diese Verbindungen optisch aktiv. Die Synthese sämtlicher Kava-Pyrone ist gelungen.

Im Tierexperiment unterscheidet sich das Wirkungsbild der Kava-Pyrone lediglich in quantitativer Hinsicht. In experimentellen Studien und klinischen Untersuchungen von Kavain wurden die Effekte Endoanästhesie, zentrale Muskelrelaxation und psychostabilisierende Wirkung gefunden (MEYER & KRETSCHMER, 1966). Als zentraler Angriffspunkt von Kavain wird das limbische System diskutiert (KRETSCHMER, 1970). Untersuchungen der psychischen Wirkung von Kavain beim Menschen (KRETSCHMER, 1970) ergaben bei 75 % der Versuchspersonen mehr oder weniger deutlich ausgeprägte positive seelische Veränderungen. Der Schwerpunkt lag auf Entspannung, Affektdämpfung und Anregung des Antriebs auf den Gebieten von Vorstellung und Handeln, wobei die drei Komponenten in quantitativer Hinsicht je nach Individuum verschieden verteilt sind. Die Kava-Pyrone gewannen damit auch das Interesse des Arbeitsphysiologen.

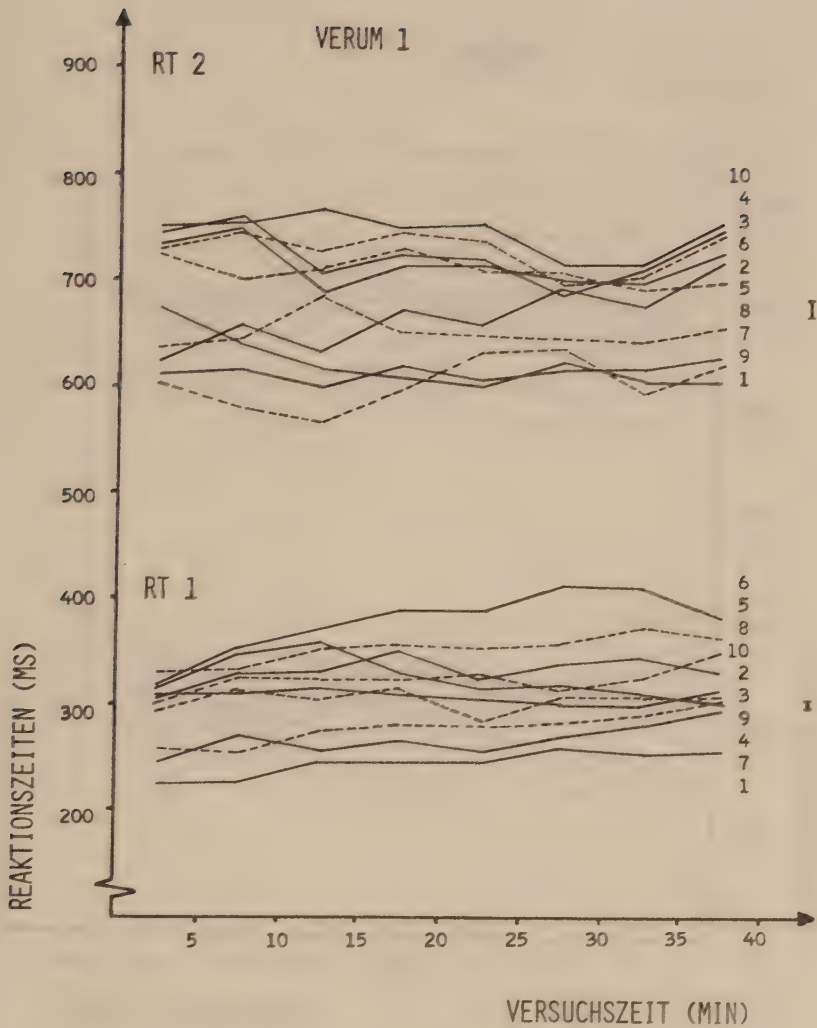


Abb. 9a: Verlauf der motorischen Reaktionszeit RT 1 und der mentalen Verarbeitungszeit RT 2 während des Versuchs nach 1tägiger Einnahme von Verum für die Probanden 1, ..., 10.

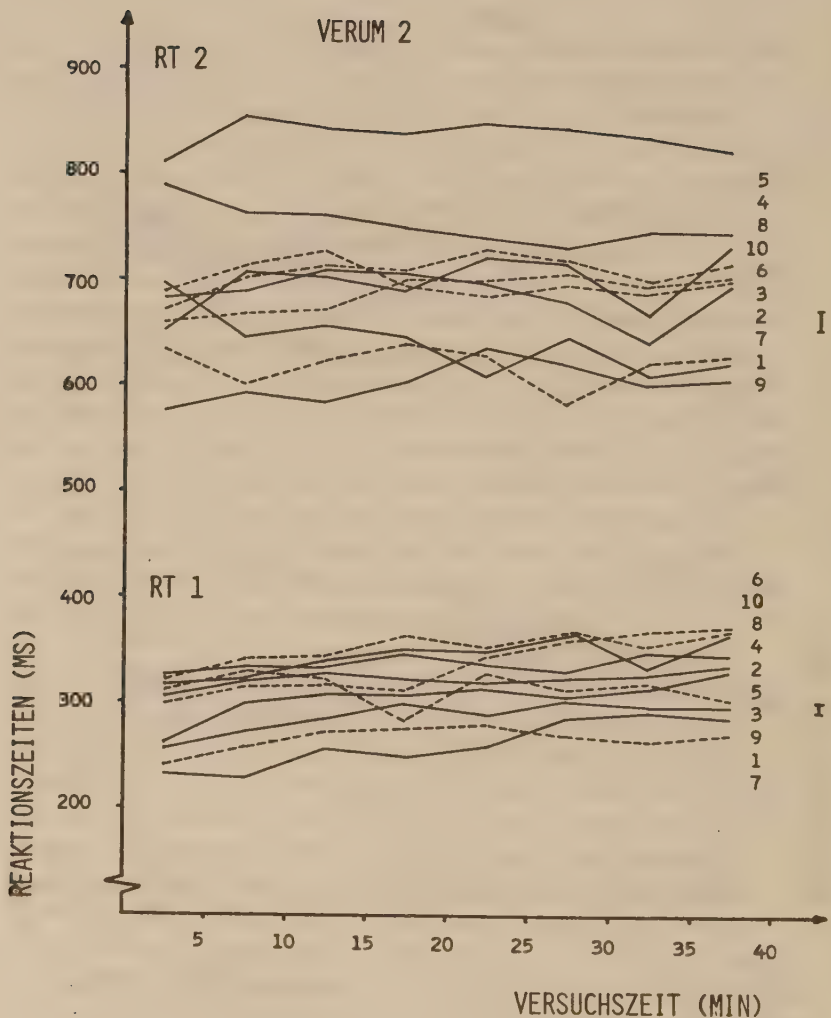


Abb. 9b: Verlauf der motorischen Reaktionszeit RT 1 und der mentalen Verarbeitungszeit RT 2 während des Versuchs nach 7tägiger Einnahme von Verum für die Probanden 1, ..., 10.

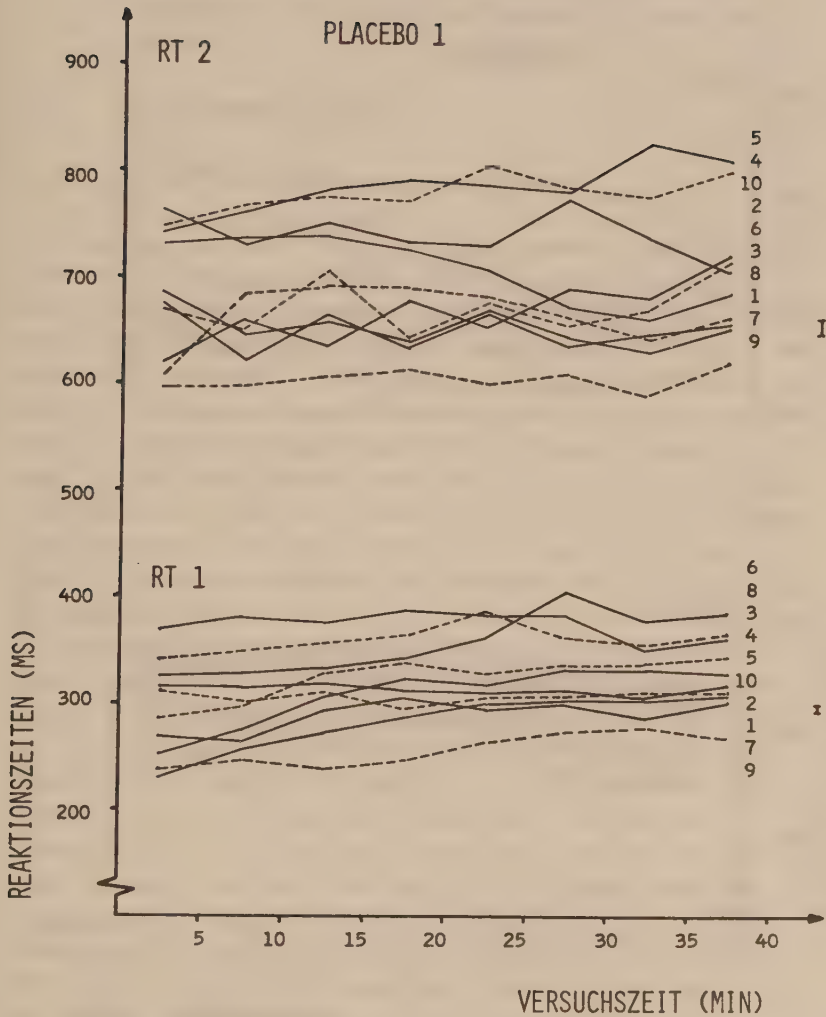


Abb. 9c: Verlauf der motorischen Reaktionszeit RT 1 und der mentalen Verarbeitungszeit RT 2 während des Versuchs nach 1tägiger Einnahme von Placebo für die Probanden 1, ..., 10.

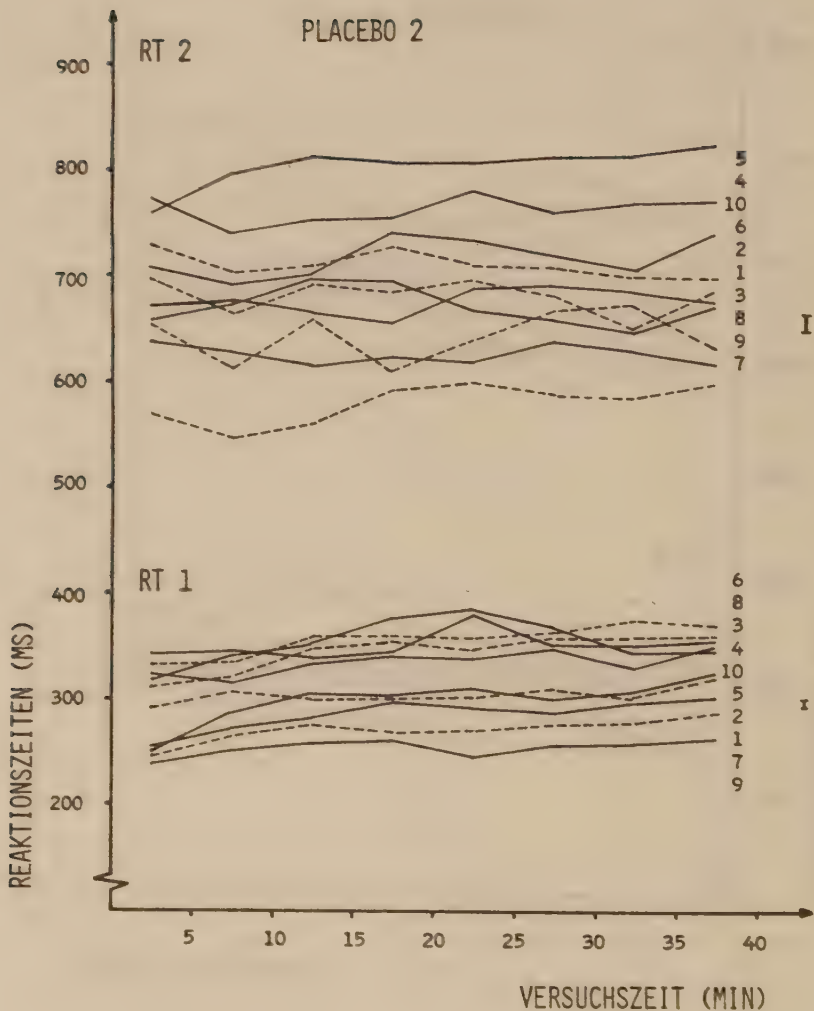


Abb. 9d: Verlauf der motorischen Reaktionszeit RT 1 und der mentalen Verarbeitungszeit RT 2 während des Versuchs nach 7tägiger Einnahme von Placebo für die Probanden 1, ..., 10.

4.2. Untersuchung zum Einfluß des Psychopharmakons Kavain auf die Leistungsfähigkeit bei mentaler Arbeit

4.2.1. Versuchsergebnisse

4.2.1.1. Reaktionszeiten

Die Abbildungen 9a - d zeigen eine graphische Zusammenstellung der motorischen Reaktionszeit RT 1 und der mentalen Verarbeitungszeit RT 2 für die 10 Versuchspersonen. Dargestellt sind die Ergebnisse aller Hauptversuche, nämlich der Verumversuche nach 1- bzw. 7tägiger Einnahme von Kavain und der Placeboversuche nach entsprechender Medikation von Placebo. Jeder eingetragene Meßpunkt ergibt sich als Mittelwert von 60 Einzelwerten. Werte für RT 1 bzw. RT 2 von mehr als 500 ms bzw. 1000 ms wurden für die Mittelwertberechnung nicht herangezogen. Diese Werte kamen zustande entweder durch die Unaufmerksamkeit der Probanden oder durch Versagen der Meßeinrichtung. Aus letzterem Grunde konnten diese Werte für die gesonderte Auswertung als Zeitüberschreitungen nicht herangezogen werden. Die Zeitüberschreitungen betrafen in erster Linie die mentale Verarbeitungszeit RT 2, während RT 1 fast durchweg im Normbereich lag. Da der mittlere Abstand zwischen den Triggersignalen der automatischen Versuchssteuerung 5 s betrug, ergibt sich für die Abb. 9 a - d sowie für die folgenden Abbildungen ein linearer Zusammenhang zwischen der mittleren Zeit für 60 Darbietungen und der Versuchszeit, die auf der Abszisse eingetragen ist. Der durchschnittliche Fehler des Mittelwerts von RT 1 und RT 2 ist exemplarisch in den Diagrammen rechts aufgetragen. Der prozentuale Fehler des Mittelwerts liegt für RT 1 und RT 2 in der gleichen Größenordnung.

Die motorischen Reaktionszeiten RT 1 liegen für alle Hauptversuche zwischen 230 und 400 ms. Die Verarbeitungszeit für

visuelle Information liegt im Bereich von 550 - 800 ms, sie ist damit etwa doppelt so groß wie die motorische Reaktionszeit. Die absolute interindividuelle Streuung ist für RT 1 wesentlich geringer als diejenige für RT 2. In den Abb. 9 a - d fällt auch auf, daß die individuellen Werte für RT 1 ständig ansteigen und relativ gut durch eine Gerade genähert werden können. Die Werte für RT 2 zeigen dagegen ein Bild, das weniger einheitlich ist. Die Werte steigen und fallen wellenförmig, eine einheitliche Tendenz läßt sich nicht feststellen.

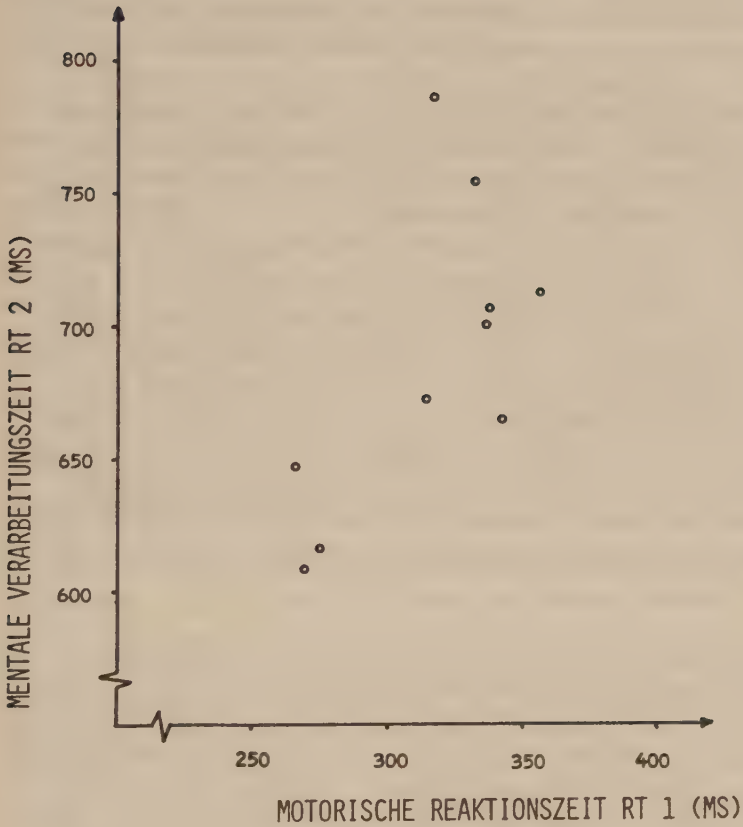


Abb. 10: Beziehung zwischen der motorischen Reaktionszeit RT 1 und der mentalen Verarbeitungszeit RT 2 für 10 Versuchspersonen

Vergleicht man die motorischen Reaktionszeiten und die mentalen Verarbeitungszeiten der einzelnen Versuchspersonen, so zeigt sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen diesen beiden Größen. Probanden mit einer kurzen motorischen Reaktionszeit imponieren auch durch eine relativ kurze mentale Verarbeitungszeit. Dieser Sachverhalt ist in der Abb. 10 dargestellt, in der RT 1 gegen RT 2 aufgetragen ist. Jeder eingetragene Wert ist aus den 4 Hauptversuchen errechnet. Ordnet man die Versuchspersonen nach der Schnelligkeit ihrer Reaktionen ein, so ergibt sich für die motorische Reaktion als Rangordnung 1 - 9 - 7 - 2 - 5 - 4 - 3 - 10 - 8 - 6, wobei Proband Nr. 1 die kürzeste, Proband Nr. 6 die längste Reaktionszeit aufweist. 9 - 7 - 1 - 8 - 2 - 3 - 10 - 6 - 4 - 5 heißt die entsprechende Rangordnung der Versuchspersonen für die mentale Verarbeitungszeit. Lediglich die Probanden Nr. 5, der eine gegenüber der Norm erhöhte mentale Verarbeitungszeit aufweist, und Nr. 8 lassen sich nicht eindeutig in dieses Schema einordnen. Aus den Einzeldarstellungen der Abb. 9 a - d läßt sich entnehmen, daß die einzelnen Probanden sich gemäß ihrer Einordnung gegenüber den anderen Versuchspersonen relativ konstant verhalten.

Wie die Einzeldarstellungen zeigen, ist die interindividuelle Streubreite der einzelnen Probanden für RT 1 und RT 2 recht groß. Aus diesem Grunde wurde keine einfache Mittelung der Ergebnisse durchgeführt. Die Normierung der Meßwerte mit der mittleren Reaktionszeit, einer persönlichen Größe jeder Versuchsperson, führt zu relativen Werten, die nicht so großen individuellen Schwankungen wie die originalen Meßwerte unterliegen. Aus den beiden Placebo-Versuchen, d. h. aus ca. 960 Einzelwerten, wurden für jede Versuchsperson mittlere Werte für RT 1 und RT 2 errechnet, die als Normierungswerte eingeführt wurden. Durch die Relativierung der Meßwerte konnte ein großer Teil der Varianz eliminiert werden, was die Aussagekraft der Parameter für das

Gruppenverhalten wesentlich erhöht. Die normierten Reaktionszeiten sind in den Abb. 11 a - b dargestellt. Damit die Anschaulichkeit nicht verlorengeht, sind nicht die Relativwerte aufgetragen, sondern die mit dem Mittelwert der 10 Normierungsfaktoren multiplizierten. Die Fehlerbalken geben den Fehler des Mittelwerts an.

Die Werte der motorischen Reaktionszeit steigen sowohl in den Verum- als auch in den Placebo-Versuchen gleichmäßig an. Die Ausgangswerte liegen für alle vier Hauptversuche bei 295 ms (Verum 1: 297 ms; Verum 2: 290 ms; Placebo 1: 296 ms; Placebo 2: 296 ms). Der mittlere Anstieg in 5 min. beträgt 4,6 ms (V 1: 4,2 ms; V 2: 5,1 ms; P 1: 4,9 ms; P 2: 4,3 ms). Am Ende des Versuchs lag die motorische Reaktionszeit bei 351 ms (V1: 330 ms; V 2: 330 ms; V 2: 331 ms; P 1: 335 ms; P 2: 330 ms). Die einzelnen Werte lassen sich recht gut durch eine Gerade nähern. Der Korrelationskoeffizient für den Verum-Versuch nach eintägiger Medikation beträgt 0,91, für den Verum-Versuch nach 7tägiger Medikation 0,95. Die entsprechenden Daten für Placebo sind 0,93 und 0,86.

Die Werte für die mentale Verarbeitungszeit RT 2 unterliegen starken periodischen Fluktuationen während des Versuchs. Die lineare Näherung des Verlaufs von RT 2 durch eine Ausgleichsgerade ist nur als grobe Näherung anzusehen, deren Aussagekraft eingeschränkt ist. Die Korrelationskoeffizienten betragen für die Verum-Versuche - 0,14 und - 0,17, für die Placebo-Versuche 0,53 und 0,48. In den Versuchen mit Kavain fällt die sensorische Verarbeitungszeit geringfügig mit der Versuchszeit ab, die Regressionskoeffizienten betragen - 0,4 ms (V 1) und - 0,5 ms (V 2) in 5 min. Die Ausgangswerte dieser Versuche betragen 686 ms (V 1) und 694 ms (V 2), die Endwerte liegen bei 682 ms (V 1) und 690 ms (V 2). Während die sensorische Reaktionszeit in den Versuchen nach Medikation von Kavain - wenn auch nur geringfügig - abfällt, steigt sie sowohl nach 1tägiger als auch nach 7tägiger Einnahme von Placebo leicht an. Für den ersten Placebo-Versuch

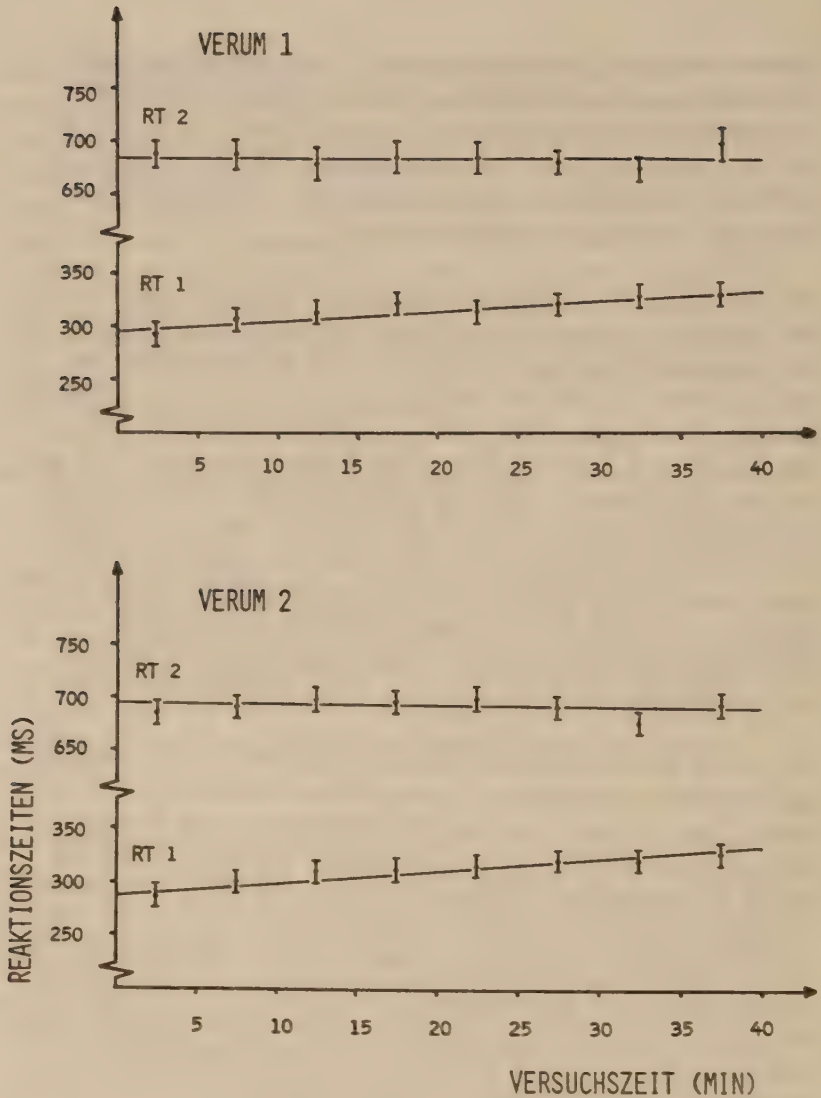


Abb. 11a: Normierte Mittelwerte der motorischen Reaktionszeit RT 1 und der mentalen Verarbeitungszeit RT 2 für 10 Probanden mit den Regressionsgeraden.

oben: nach 1tägiger Einnahme von Verum

unten: nach 7tägiger Einnahme von Verum

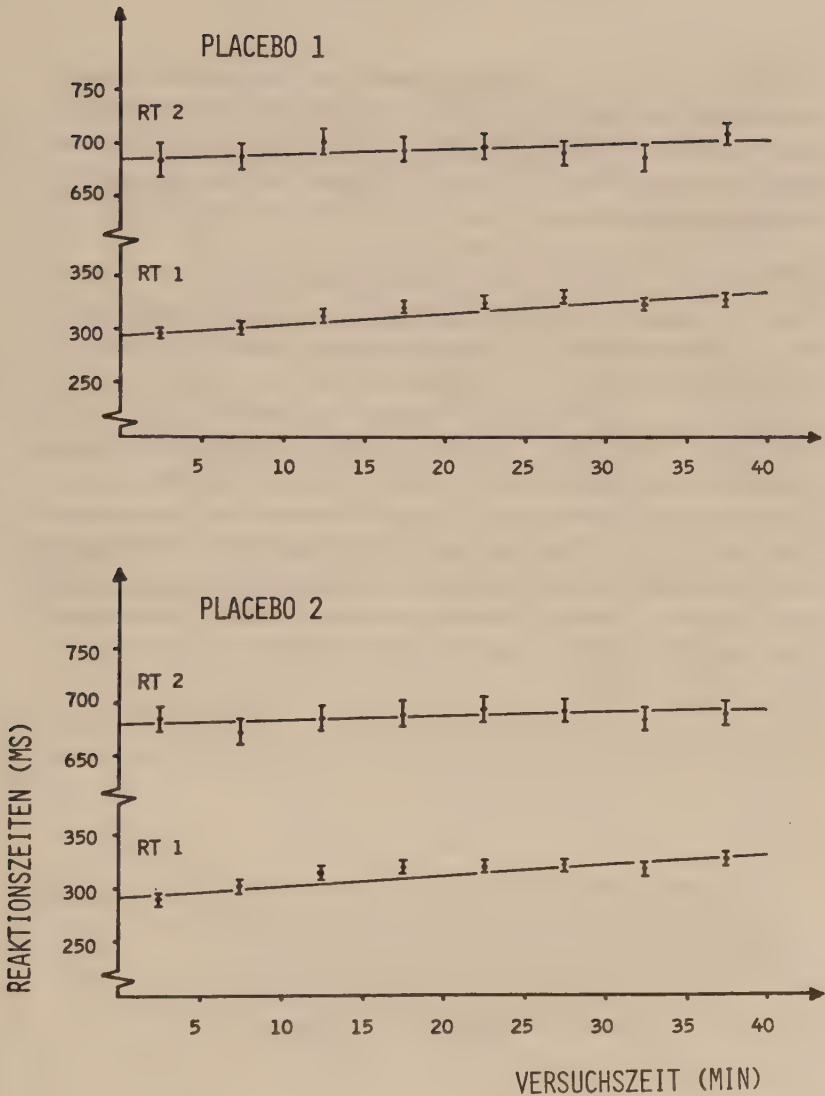


Abb. 11b: Normierte Mittelwerte der motorischen Reaktionszeit RT 1 und der mentalen Verarbeitungszeit RT 2 für 10 Probanden mit den Regressionsgeraden, oben: nach 1tägiger Einnahme von Placebo unten: nach 7tägiger Einnahme von Placebo

ergibt sich bei einem Ausgangswert von 686 ms und einem durchschnittlichen Anstieg von 1,9 ms in 5 min ein Endwert nach 40 min Versuchszeit von 702 ms. Im zweiten Placebo-Versuch steigt RT 2 von 681 ms auf 690 ms an, der Regressionskoeffizient beträgt 1,2 ms in 5 min.

In der Tab. 1 a und b sind die Mittelwerte von RT 1 und RT 2 der einzelnen Versuchspersonen für die 4 Hauptversuche zusammengestellt. Außerdem sind die Differenzen dieser Mittelwerte für die entsprechenden Versuche nach 1tägiger (V 1 - P 1) und nach 7tägiger Medikation (V 2 - P 2) aufgeführt. Das x nach der Nummer des jeweiligen Probanden bedeutete eine Reihenfolge bei der Medikation von Verum-Placebo, die nicht gekennzeichneten Probanden nahmen die Präparate in der umgekehrten Reihenfolge ein (siehe Abb. 8). Aus der Tabelle können eventuelle systematische Veränderungen von RT 1 und RT 2 für die Versuchspersonen entnommen und das Gruppenverhalten beurteilt werden.

PROBAND NR.	MOTORISCHE REAKTIONSZEIT RT 1 (MS)					
	V1	V2	P1	P2	V1 - P1	V2 - P2
1 x	247	261	282	285	- 35	- 24
2	310	323	305	303	5	20
3 x	306	313	374	351	- 68	- 38
4 x	327	337	325	336	2	1
5	356	305	310	296	46	9
6	376	336	357	356	19	- 20
7	270	267	290	271	- 20	- 4
8 x	326	339	359	345	- 33	- 6
9	282	287	257	254	25	33
10 x	334	351	310	353	24	- 2

Tabelle 1a: Zusammenstellung der motorischen Reaktionszeiten RT 1 der Probanden 1, ..., 10 für die Versuche nach eintägiger (V 1, P 1) und nach siebentägiger Einnahme (V 2, P 2) von Verum bzw. Placebo sowie der Paardifferenzen V 1 - P 1 und V 2 - P 2.
x: Reihenfolge der Einnahme Verum - Placebo

PROBAND NR.	MENTALE VERARBEITUNGSZEIT RT 2 (MS)					
	V1	V2	P1	P2	V1-P1	V2-P2
1 x	625	640	652	676	- 27	- 36
2	670	686	676	680	- 6	6
3 x	730	696	708	672	22	24
4 x	728	751	779	762	- 51	- 11
5	711	850	787	802	- 86	48
6	717	685	743	709	- 26	- 24
7	617	618	656	578	- 39	40
8 x	654	697	670	644	- 16	63
9	604	602	606	625	- 2	- 23
10 x	746	703	669	715	77	- 12

Tabelle 1b: Zusammenstellung der mentalen Verarbeitungszeiten RT 2 der Probanden 1, ..., 10 für die Versuche nach eintägiger (V 1, P 1) und nach siebentägiger Einnahme (V 2, P 2) von Verum bzw. Placebo sowie der Paardifferenzen V 1 - P 1 und V 2 - P 2.
x: Reihenfolge der Einnahme Verum - Placebo

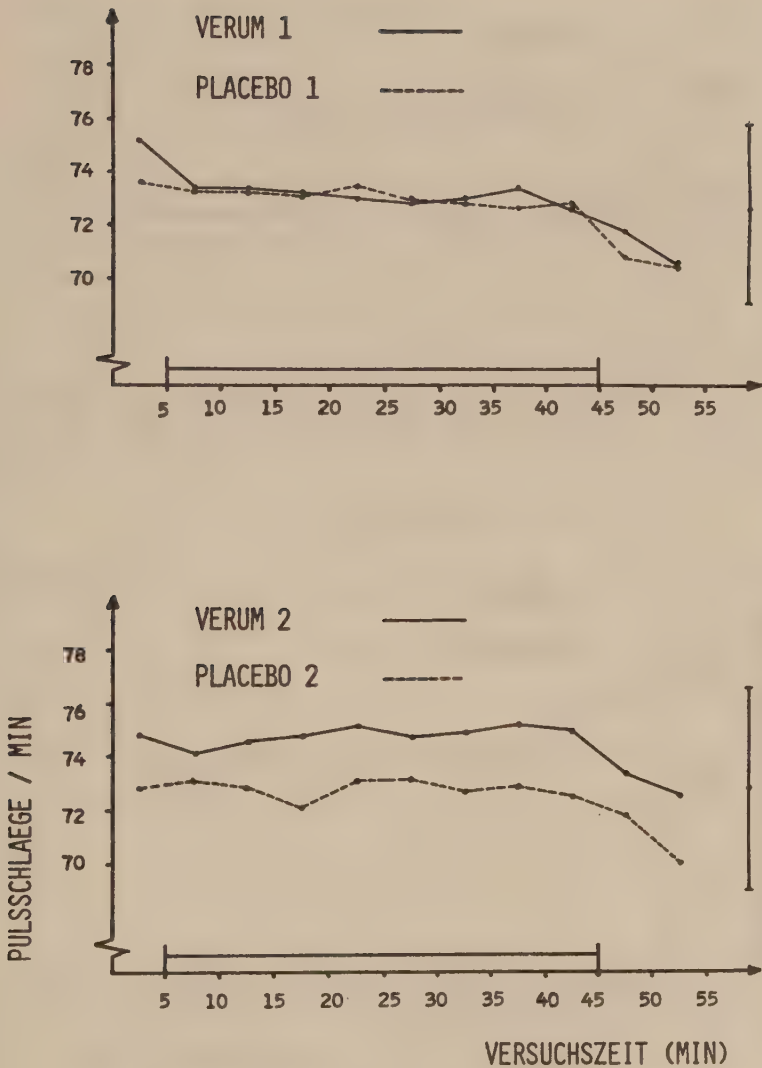


Abb. 12: Verlauf der 5-min-Mittelwerte des Pulses für 10 Probanden.
oben: nach 1tägiger Einnahme von Verum/Placebo
unten: nach 7tägiger Einnahme von Verum/Placebo

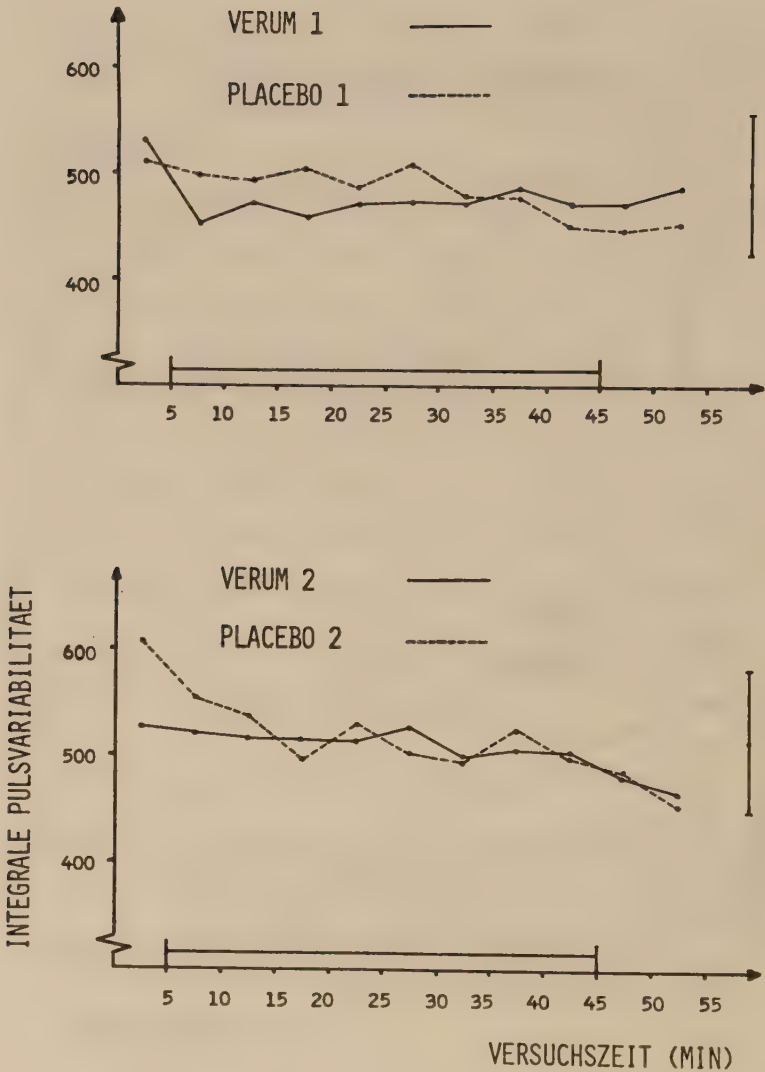


Abb. 13: Verlauf der 5-min-Mittelwerte der Integralen Pulsvariabilität für 10 Probanden.

oben : nach 1tägiger Einnahme von Verum/Placebo

unten: nach 7tägiger Einnahme von Verum/Placebo

4.2.1.2. Puls und Pulsvariabilität

In der Abb. 12 finden sich die Ergebnisse für die Messungen der Pulsrate. Gemessen wurde der 30-s-Puls, der zur besseren Anschaulichkeit auf 60 s umgerechnet wurde. In den Graphiken sind die sich entsprechenden Verum- und Placebo-Versuche gleichzeitig eingetragen. Jeder Meßpunkt gibt den Mittelwert für ein 5-min-Intervall an und ist aus 100 Werten errechnet. Bei der Darstellung des Verlaufs der Pulsrate nach 7tägiger Einnahme von Verum bzw. Placebo (Abb. 12 unten) sind nur 9 Versuchspersonen berücksichtigt, da Proband Nr. 2 beim zweiten Placeboversuch mit einem beeinträchtigten Allgemeinbefinden antrat, und sein Puls um über 20 Schläge/min gegenüber der Norm erhöht war, was eine

PROBAND NR.	PULSSCHLAEGE / MIN					
	V1	V2	P1	P2	V1-P1	V2-P2
1 x	39.4	40.4	40.5	43.5	- 0.9	- 3.1
2	33.4		35.2		- 1.8	
3 x	30.1	30.2	31.6	30.5	- 1.5	- 0.3
4 x	48.1	50.8	44.3	41.8	3.8	9.0
5	31.6	31.1	31.4	34.6	0.2	- 3.5
6	43.1	41.9	44.0	40.5	- 0.9	1.4
7	37.8	39.9	39.6	37.2	- 1.8	2.7
8 x	33.0	36.7	34.8	37.5	- 1.8	- 0.8
9	34.9	33.5	33.4	29.9	1.5	3.6
10 x	33.9	32.4	29.7	32.0	4.2	0.4

Tabelle 2: Zusammenstellung der Pulsraten der Probanden 1 ...10 für die Versuche nach eintägiger (V 1, P 1) und nach siebentägiger Einnahme (V 2, P 2) von Verum bzw. Placebo sowie der Paardifferenzen V 1 - P 1 und V 2 - P 2.
x: Reihenfolge der Einnahme Verum - Placebo

Verfälschung des Ergebnisses bewirkt hätte. Die entsprechenden Werte für den Verumversuch sind natürlich ebenfalls nicht für die Mittelwertberechnung herangezogen worden. Der mittlere Puls für alle 10 Versuchspersonen liegt bei 73 Schlägen/min, lediglich in dem Versuch nach sieben-tägiger Einnahme von Kavain liegt er bei 74 Schlägen/min. Die vor der eigentlichen Versuchszeit registrierten Puls-werte entsprechen den Werten während der "Arbeit", in einem Fall (V 1) ist dieser Wert sogar erhöht. Der Erholungspuls nach dem Versuch liegt um ca. 2 Pulsschläge niedriger. Der Verlauf der Pulsrate in den Versuchen nach eintägiger Ein-nahme von Verum bzw. Placebo ist nahezu identisch. Nach siebentägiger Präparateinnahme liegen die Werte für Kavain ge-ringfügig höher. Es liegen allerdings alle

PROBAND NR.	INTEGRALE PULSVARIABILITAET					
	V1	V2	P1	P2	V1-P1	V2-P2
1 x	805	813	794	698	11	115
2	255		278		- 23	
3 x	394	335	405	569	- 11	-234
4 x	712	610	797	766	- 85	-156
5	430	340	238	364	192	- 24
6	678	743	611	718	67	25
7	617	732	755	385	-138	347
8 x	293	480	314	516	- 21	- 36
9	267	274	205	294	62	- 20
10 x	251	300	479	361	-228	- 61

Tabelle 3: Zusammenstellung der Integralen Pulsvariabilität der Probanden 1, ... 10 für die Versuche nach eintägiger (V 1, P 1) und siebentägiger Einnahme (V 2, P 2) von Verum bzw. Placebo sowie der Paar-differenzen V 1 - P 1 und V 2 - P 2.
x: Reihenfolge der Einnahme Verum - Placebo

Werte innerhalb der Fehlergrenzen. Der Fehler des Mittelwertes liegt mit ca. 3,2 Schlägen/min recht hoch, da lediglich eine einfache Mittelung der gemessenen Daten durchgeführt wurde. Die Tabelle 2 zeigt eine Zusammenstellung der Mittelwerte der Pulsrate für die einzelnen Probanden während der gesamten Versuchszeit und die Paardifferenzen der sich entsprechenden Versuche nach eintägiger und nach siebentägiger Präparateinnahme. Der Ausgangs- und der Erholungspuls wurden bei der Berechnung dieser Werte nicht herangezogen.

Den Verlauf der 5-min-Mittelwerte der Integralen Pulsvariabilität gibt die Abb. 13 wieder. Die Ausgangswerte liegen etwas höher (Verum 1, Placebo 2) oder gleichauf (Verum 2, Placebo 1) mit den Arbeitswerten, die Erholungswerte liegen zum Teil auf dem gleichen Niveau (Verum 1, Placebo 1) oder geringfügig darunter (Verum 2, Placebo 2). Die Werte liegen in dem Bereich von 450 - 550 relativen Einheiten. In der Tabelle 3 sind die Mittelwerte der Integralen Pulsvariabilität für die einzelnen Versuchspersonen während der gesamten Arbeitszeit im Versuch sowie die zugehörigen Paardifferenzen aufgeführt. Wie bei der Zusammenstellung der Ergebnisse der Pulsmessung ist Proband Nr. 2 bei den Versuchen nach siebentägiger Einnahme der Präparate nicht mit aufgeführt, da die Integrale Pulsvariabilität in direktem Zusammenhang mit der Herzfrequenz steht.

4.2.1.3. Lesefehler

Als Indikator für einen Einfluß des Präparates auf die Leistungsfähigkeit bei mentaler Arbeit kann auch die Zahl der Lesefehler dienen, die ein direktes Maß der erbrachten Leistung darstellt. Als Fehler wurden Verwechslungen der Buchstaben und Vertauschungen der richtigen Reihenfolge der 3 Buchstaben eines Testzeichens gewertet. Die Möglichkeit "nicht erkannt" entfiel, da die Versuche nach der Methode

der erzwungenen Wahl durchgeführt wurden. Da die Darbietungszeit für eine Buchstabenkombination mit 25 ms gewählt wurde, betrug die Erkennungswahrscheinlichkeit nahezu 100 %, die Zahl der Fehler war entsprechend gering. In der Abb. 14 sind die Mittelwerte der prozentualen Fehlerhäufigkeit für die 10 Versuchspersonen während der gesamten Versuchszeit graphisch dargestellt. Für die Versuche nach Einnahme von Kavain beträgt die Fehlerhäufigkeit 1,68 % (Verum 1) bzw. 1,40 % (Verum 2), für die Versuche nach entsprechender Einnahme von Placebo 1,62 % (Placebo 1) und 1,63 % (Placebo 2). Die Fehlerhäufigkeit für jeweils ein 5-min-Intervall als Funktion der Versuchszeit zeigt die Abb. 15. Die sich entsprechenden Verum- (durchgezogene Linie) und Placebo-Versuche (gestrichelte Linie) sind jeweils gegenübergestellt. Die Versuche nach eintägiger Medikation (Verum 1, Placebo 1) zeigen eine leicht ansteigende Tendenz der Fehlerhäufigkeit während diese nach siebentägiger Einnahme der Präparate (Verum 2, Placebo 2) während des Versuchs in etwa konstant bleibt. Die individuellen Fehlerhäufigkeiten der Probanden 1, ..., 10 für die einzelnen Versuche sind in der Tabelle 4 übersichtlich zusammengestellt.

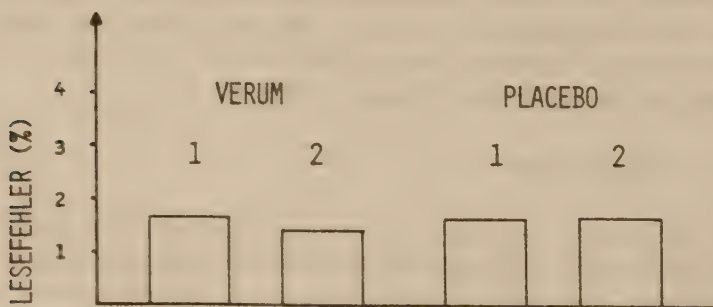


Abbildung 14: Prozentuale Fehlerhäufigkeit in den Versuchen nach 1tägiger (Verum 1, Placebo 1) und nach 7tägiger Einnahme (Verum 2, Placebo 2) von Verum bzw. Placebo.

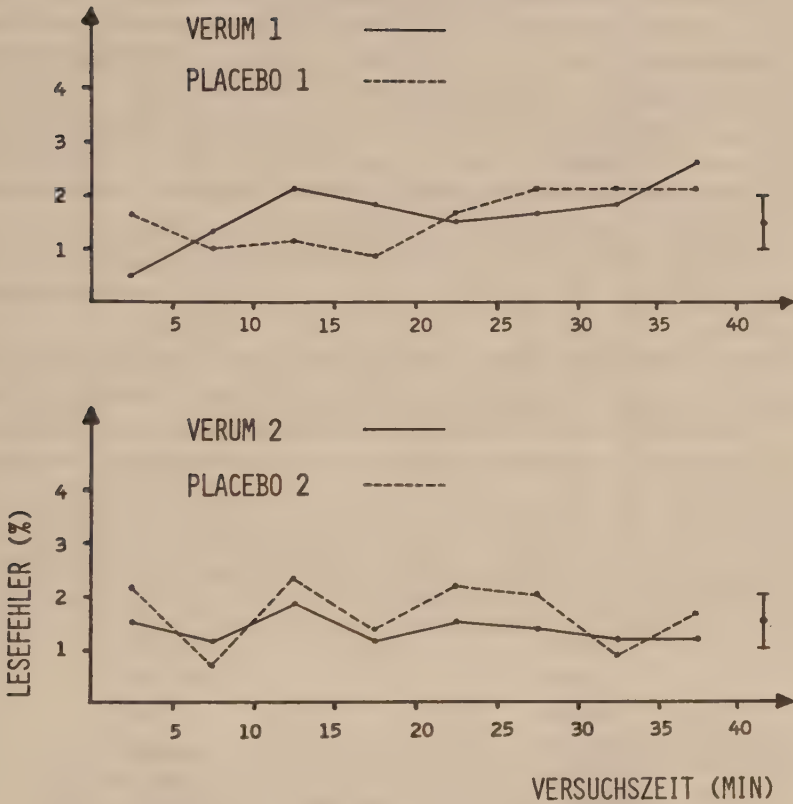


Abbildung 15: Verlauf der 5-min-Mittelwerte der prozentualen Fehlerhäufigkeit für 10 Probanden.
oben: nach 1tägiger Einnahme von Verum/Placebo
unten: nach 7tägiger Einnahme von Verum/Placebo

PROBAND NR.	LESEFEHLER (ANZAHL)					
	V1	V2	P1	P2	V1-P1	V2-P2
1 x	10	15	5	8	5	7
2	12	4	14	7	- 2	- 3
3 x	5	8	12	11	- 7	- 3
4 x	2	5	2	1	0	4
5	6	7	7	9	- 1	- 2
6	24	11	19	20	5	- 9
7	2	3	3	4	- 1	- 1
8 x	6	4	4	5	2	- 1
9	6	6	7	5	- 1	1
10 x	8	5	4	9	4	- 4

Tabelle 4: Zusammenstellung der Anzahl der Lesefehler der Probanden 1, ..., 10 für die Versuche nach eintägiger (V 1, P 1) und nach siebentägiger Einnahme (V 2, P 2) von Verum bzw. Placebo sowie der Paardifferenzen V 1 - P 1 und V 2 - P 2.

x: Reihenfolge der Einnahme Verum - Placebo

4.2.1.4. Fragebögen

Die Versuchspersonen erklärten übereinstimmend, daß sie sich nach den Versuchen sehr angestrengt fühlten. Drei Versuchspersonen verspürten während der einwöchigen Medikation subjektiv eine Wirkung von Kavain und konnten es nachträglich vom Placebo unterscheiden. Eine Leistungsverbesserung konnte subjektiv von keiner Versuchsperson festgestellt werden. Lediglich Proband Nr. 2 gab an, daß ihn die Versuche nach Einnahme von Kavain nicht so sehr anstregten wie die entsprechenden Versuche nach Einnahme von Placebo.

Angaben zur jeweiligen Reaktionslage wurden vor jedem Versuch in einem Fragebogen gemacht, den die Abb. 16 zeigt. In einer 6stufigen Skala zwischen jeweils zwei gegensätzlichen Kriterien mußte sich jede Versuchsperson einordnen. Zur Auswertung wurden die Bewertungspunkte einfach addiert,

Ich fühle bzw. beurteile mich im Augenblick als.....(bitte ankreuzen)						
trübsinnig	3	2	1	1	2 3	aufgeheitert
ängstlich	3	2	1	1	2 3	mutig
reizbar	3	2	1	1	2 3	ausgeglichen
lustlos	3	2	1	1	2 3	unternehmungslustig
unruhig	3	2	1	1	2 3	ruhig
unaufmerksam	3	2	1	1	2 3	aufmerksam
gespannt	3	2	1	1	2 3	gelöst
müde	3	2	1	1	2 3	frisch
sprunghaft	3	2	1	1	2 3	konzentriert
antriebsarm	3	2	1	1	2 3	leistungsfähig
Zeichenerklärung: 1 leicht; 2 mittel; 3 stark;						

Abbildung 16: Fragebogen mit Angaben zur jeweiligen Reaktionslage, der vor jedem Versuch ausgefüllt werden mußte.

wobei den Ziffern der linken Seite des Fragebogens (negative Selbstbeurteilung) ein negatives, denen der rechten Seite (positive Selbstbeurteilung) ein positives Vorzeichen zugeordnet wurde. Das Ergebnis zeigt die Tabelle 5.

PROBAND NR.	SUBJEKTIVE BEWERTUNGSKRITERIEN (PUNKTEZAHL)					
	V1	V2	P1	P2	V1-P1	V2-P2
1 x	14	18	14	14	0	4
2	18	20	13		5	
3 x	20	19	14	21	6	- 2
4 x	- 2	2	10	2	-12	0
5	15	17	18	29	- 3	-12
6	2	-10	11	4	- 2	-14
7	7	8	10	21	- 3	-13
8 x	16	9	19	10	- 3	- 1
9	13	13	12	11	1	2
10 x	11	2	8	8	3	- 6

Tabelle 5: Zusammenstellung der subjektiven Bewertungspunkte der Probanden 1, ..., 10 für die Versuche nach eintägiger (V 1, P 1) und nach siebentägiger Einnahme (V 2, P 2) von Verum bzw. Placebo sowie der Paardifferenzen
V 1 - P 1 und V 2 - P 2.

x: Reihenfolge der Einnahme Verum - Placebo

In dem Fragebogen mußten außerdem noch Angaben über eventuelle Beschwerden bzw. Nebenwirkungen gemacht werden. Gefragt wurde nach Schwindel, Kopfschmerz, Schwitzen, Schlafstörungen, Verdauungsbeschwerden, Zittern, Mundtrockenheit, Appetit-

mangel, Übelkeit und eventuell anderen Erscheinungen. Die Angaben der Probanden in dieser Rubrik waren praktisch durchweg verneinend. Zwei Versuchspersonen klagten allerdings über Müdigkeit während des Zeitraums, in dem sie Kavain verabreicht bekamen.

4.2.2. Diskussion

Die Versuchsergebnisse wurden in das parameterfreie Prüfverfahren für korrelierende Stichproben nach Wilcoxon eingeführt und in zweierlei Hinsicht überprüft. In erster Linie ist natürlich ein eventueller Einfluß des Präparates auf die erbrachte Arbeitsleistung bzw. auf die registrierten physiologischen Parameter von Interesse. Hierzu wurden jeweils die Versuche nach eintägiger (Verum 1, Placebo 1) und nach siebentägiger Einnahme (Verum 2, Placebo 2) von Verum bzw. Placebo miteinander verglichen. Die Prüfparameterwerte finden sich als Paardifferenzen in den tabellari-schen Zusammenstellungen der Einzelergebnisse (Verum 1 - Placebo 1, Verum 2 - Placebo 2). Zum anderen müssen eventuelle Lerneffekte beurteilt werden, also systematische Veränderungen der Ergebnisse, die nicht durch die Einnahme von Kavain, sondern durch die zeitliche Reihenfolge der Versuche bedingt sind. Hierzu wurden die Ergebnisse der einander entsprechenden Versuche nicht nach Maßgabe der Präparateinnahme, sondern nach ihrer zeitlichen Reihenfolge (HV 1, HV 2, HV 3, HV 4; siehe Abb. 7) überprüft. Es wurde also der erste mit dem dritten Hauptversuch sowie der zweite mit dem vierten Hauptversuch verglichen. Diese Werte sind in den Tabellen nicht direkt aufgeführt, lassen sich aber mit Hilfe des Randomisierungs-codes (siehe Abb. 8) leicht ableiten. Geprüft wurde mit zweiseitiger Fragestellung, eine Irrtumswahrscheinlichkeit von mindestens 95 % für die Nullhypothese gilt als signifikant.

Ein Lerneffekt bei den Reaktionszeiten müßte in einer Abnahme von RT 1 und RT 2 bei den Versuchen der zweiten Serie (HV 3, HV 4) gegenüber denen der ersten Serie (HV 1, HV 2) ihren Niederschlag finden. Dies konnte durch die statistische Prüfung ausgeschlossen werden. Die Tendenz ging eher zu einer Verlängerung der Reaktionszeiten, was aber ebenfalls statistisch nicht abgesichert werden konnte. Erklärbar wäre solch ein Effekt dadurch, daß die Probanden sich an die Versuchsbedingungen mit der Zeit gewöhnten und der Test im Laboratorium nur bei den ersten Versuchen eine Ausnahmesituation darstellte, die zu maximaler Motivation führte. Vorgebeugt wurde dem durch Absolvierung von 2 Versuchen vor dem ersten Hauptversuch. Außerdem wurden die Hauptversuche in einem Abstand von jeweils einer Woche durchgeführt.

Das Präparat kann sich auf die Reaktionszeiten in zweierlei Hinsicht auswirken. Es kann den Ausgangswert ändern oder den Verlauf während des Versuchs beeinflussen. Für die motorische Reaktionszeit RT 1 sind die Kurven aller 4 Hauptversuche nahezu identisch. Die Ausgangswerte und auch der Anstieg der Reaktionszeiten mit fortschreitender Versuchszeit sind praktisch gleich. Die Werte steigen von 295 ms am Anfang bis zu 331 ms am Ende des Versuchs. Ein Einfluß von Kavain kann hier mit Sicherheit ausgeschlossen werden. Auch die Mittelwerte für die mentale Verarbeitungszeit RT 2 liegen für Placebo und Verum in der gleichen Größenordnung. Die Werte für den Versuch nach 1tägiger Einnahme von Verum sind etwas niedriger als die entsprechenden Werte für Placebo, was sich auch im Verlauf der Ausgleichsgeraden widerspiegelt. Das statistische Prüfverfahren ergibt jedoch auch hier für keinen Wert einen signifikanten Unterschied zwischen Placebo und Verum. Der Verlauf der Ausgleichsgeraden jedoch ist für Placebo und Verum nicht gleich. Die Versuche nach Einnahme von Placebo zeigen ansteigende Zeiten für RT 2. Beim ersten Placebo-Versuch steigt RT 2 von 686 ms auf 702 ms, beim zweiten Placebo-Versuch von 681 ms auf 690 ms. Nach 1tägiger wie

auch nach 7tägiger Einnahme von Kavain fällt der Wert für die mentale Verarbeitungszeit RT 2 gleichermaßen ab: nach 1tägiger Einnahme von 686 ms auf 682 ms, nach 7tägiger Einnahme von 694 ms auf 690 ms. Dieser Effekt ist zwar gering, besonders wenn man die wegen der periodischen Fluktuationen von RT 2 eingeschränkte Aussagekraft der Ausgleichsgeraden in Rechnung stellt. Trotzdem kann festgestellt werden, daß zwar der Ausgangswert für die mentale Verarbeitungszeit durch das Präparat nicht beeinflußt wird, daß aber im Gegensatz zu den Placebo-Versuchen eine Ermüdung während des Versuchs im Sinne von ansteigenden Werten für RT 2 nicht eintritt.

Ein Lerneffekt beim Erkennen der Buchstabenkombinationen war deshalb unwahrscheinlich, weil etwa 600 verschiedene Testzeichen verwendet wurden und die Versuche in relativ großem zeitlichen Abstand durchgeführt wurden. Eine verbesserte Leistung, d. h. weniger Fehler, bei den letzten Versuchen konnte auch nur bei 2 Versuchspersonen festgestellt werden, die statistische Prüfung für das Kollektiv ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen erster und zweiter Versuchsserie. Ebensowenig konnte ein Einfluß des Präparats auf die objektiv erbrachte Leistung nachgewiesen werden. Die Fehlerhäufigkeit und auch die Verteilung der Fehler während des Versuchs sind für Placebo und Verum gleich.

Die Pulsrate zeigt ebenso wie die Integrale Pulsvariabilität keine systematischen Veränderungen, die durch den zeitlichen Ablauf der Versuchsreihe bedingt sind. Ebenso kann ein signifikanter Unterschied zwischen Verum und Placebo weder für die Frequenz noch für die Variabilität des Pulses nachgewiesen werden. In der Abb. 12 zeigt sich für den Verum-Versuch nach 1wöchiger Einnahme von Kavain gegenüber Placebo eine geringe Zunahme der Pulsrate, der aber kein einheitliches Verhalten der Probanden zugrunde liegt und die deshalb auch statistisch nicht signifikant ist. Die Pulsrate und die Puls-

variabilität, die beide als Indikator der mentalen Belastung diskutiert werden, geben demnach keinen Hinweis auf einen positiven oder negativen Einfluß durch das Präparat.

In ihrer Wirkung auf die subjektive Bewertung der geforderten Versuchsarbeit können Placebo und Verum als gleich angenommen werden. Auch bei der Selbsteinschätzung der jeweiligen Reaktionslage konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Die subjektive Bewertung ergab bei 3 Probanden eine Verbesserung, bei 2 Probanden keine einheitliche Veränderung und bei 5 Versuchspersonen eine Verschlechterung der Bewertungskriterien während der Einnahme von Kavain. Über eventuelle Nebenwirkungen können bei der relativ geringen Anzahl von Versuchspersonen und wegen des nur kurzen Zeitraums der Medikation keine verlässlichen Aussagen gemacht werden.

Zusammengefaßt kann festgestellt werden, daß das untersuchte Präparat im Bereich motorischer Reaktionen keine Auswirkungen auf die Größe der Reaktionszeit und auf den Gang der Ermüdung zeigt. Bei der Verarbeitung optischer Muster durch den Menschen zeigt sich, daß - bei unverändertem Ausgangswert der Verarbeitungszeit - eine Ermüdung im Sinne zunehmender Werte für RT 2 während der Einnahme von Kavain nicht eintritt. Auf die objektiv erbrachte Leistung (Lesefehler), auf die registrierten peripheren physiologischen Parameter (Pulsrate, Integrale Pulsvariabilität) und auf die subjektive Selbsteinschätzung der Probanden kann ein Einfluß des Präparats nicht nachgewiesen werden.

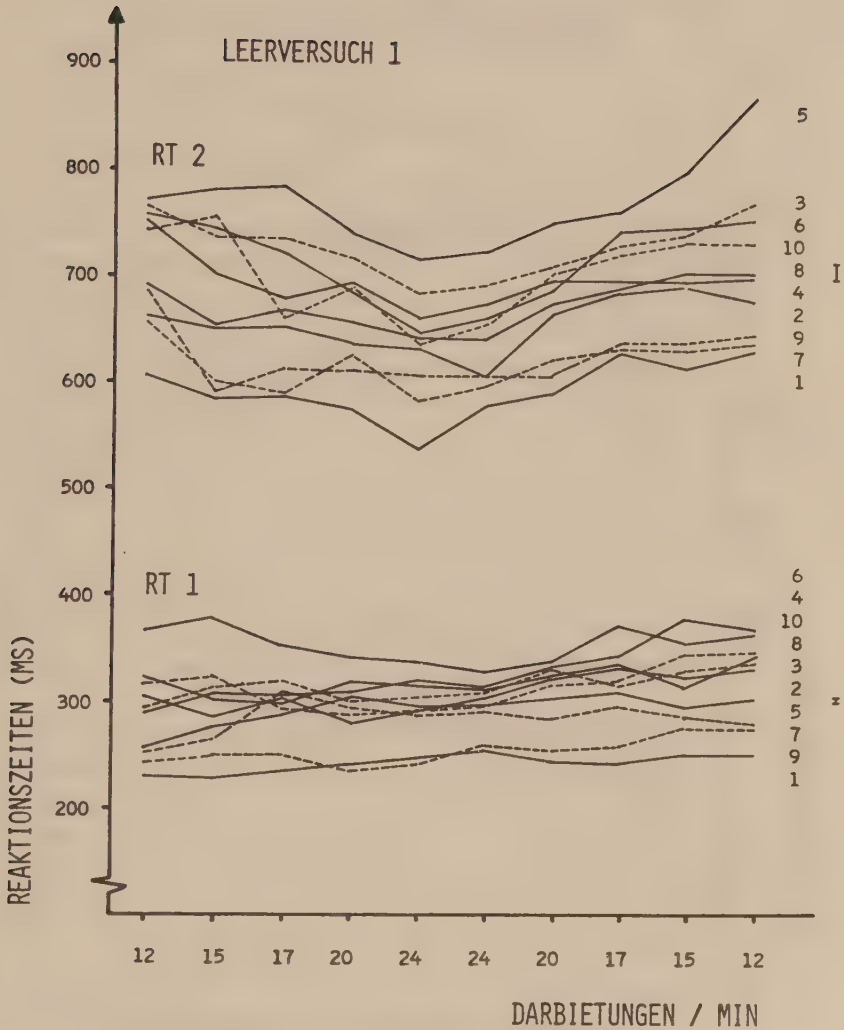


Abbildung 17a: Verlauf der motorischen Reaktionszeit RT 1 und der mentalen Verarbeitungszeit RT 2 in Abhängigkeit von der Anzahl der Darbietungen pro Minute für die Probanden 1, ..., 10.

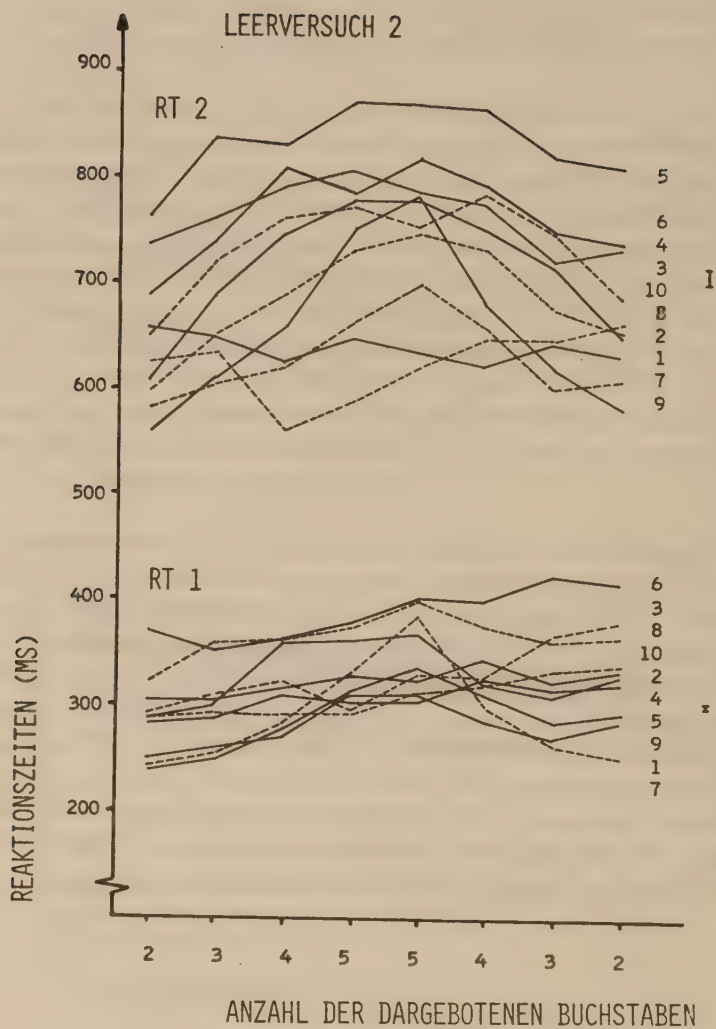


Abbildung 17b: Verlauf der motorischen Reaktionszeit RT 1 und der mentalen Verarbeitungszeit RT 2 in Abhängigkeit von der Anzahl der dargebotenen Buchstaben für die Probanden 1, ..., 10.

4.3. Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Pulsvariabilität und mentaler Belastung

4.3.1. Versuchsergebnisse

4.3.1.1. Reaktionszeiten

Die Abb. 17a - b zeigen eine Zusammenstellung der Einzeldarstellungen des Verlaufs von RT 1 und RT 2 in Abhängigkeit von der Anzahl der Darbietungen pro Minute für den ersten Leerversuch und für den zweiten Leerversuch in Abhängigkeit von der Anzahl der dargebotenen Buchstaben. Die Versuchsbedingungen wurden alle 5 min geändert, so daß auf der Abszisse ebenso gut die Versuchszeit in 5-min-Invertallen angegeben sein könnte. Die "Arbeitszeit" im Versuch war im ersten Leerversuch (LV 1) 50 min, im zweiten Leerversuch (LV 2) 40 min. Die Reaktionszeiten von jeweils einem 5-min-Intervall wurden gemittelt. Dies waren für LV 1 60 Werte zu Beginn und am Ende des Versuchs bis maximal 120 Werte in der Mitte des Versuchs. Für LV 2 waren es bei einem Signalabstand von durchschnittlich 5 s konstant 60 Werte.

Die Abb. 17a zeigt, daß während des ersten Leerversuchs die motorische Reaktionszeit RT 1 in einem Bereich von 230 - 480 ms liegt und eine gering ansteigende Tendenz während des Versuchs zu erkennen ist. Wesentlich größere intra- und interindividuelle Schwankungen sind für die mentale Verarbeitungszeit RT 2 festzustellen, die in einem Bereich von 540 - 780 ms liegt. Die niedrigsten Werte liegen für alle Probanden bei der größten Darbietungsgeschwindigkeit. Im zweiten Leerversuch (Abb. 17b) ist das Bild nicht so einheitlich. RT 1 liegt in einem Bereich von 240 - 425 ms, für einen Teil der Versuchspersonen ist eine über den gesamten Versuchsverlauf ansteigende Tendenz erkennbar, bei anderen (Probanden Nr. 7, 8, 4) weist RT 1 bei der größten Anzahl der dargebotenen Buchstaben ein deutliches Maximum auf. Dieser Effekt ist erwartungsgemäß bei der mentalen Verarbeitungszeit

RT 2 noch sehr viel stärker ausgeprägt. Nur 2 Versuchspersonen (Proband Nr. 1, 10) zeigen einen abweichenden Verlauf. Die Werte sind über einen sehr großen Bereich gestreut. Die kürzeste mittlere Verarbeitungszeit liegt bei 560 ms, die längste bei 870 ms und die intraindividuelle Streuung beträgt bis zu 200 ms (Proband Nr. 9). In den Abbildungen ist rechts exemplarisch der Fehler des Mittelwerts aufgetragen.

Da die Reaktionszeiten von Versuchsperson zu Versuchsperson sehr großen Schwankungen unterliegen, wurde darauf verzichtet, das Ergebnis der einfachen Mittelung der Reaktionszeiten aller zehn Versuchspersonen graphisch darzustellen. In den Abb. 18a - b sind deshalb die normierten Mittelwerte dargestellt. Als Normierungsfaktoren wurden dieselben Werte in die Rechnung eingeführt, die auch bei den Hauptversuchen verwendet wurden und aus den ca. 960 Einzelwerten der beiden Placebo-Versuche errechnet sind. Die Länge der Reaktionszeit ist eine persönliche Größe des betreffenden Probanden und war über den gesamten Versuchsverlauf relativ konstant.

Die Abb. 18a zeigt die normierten Mittelwerte für die motorische Reaktionszeit RT 1 und die mentale Verarbeitungszeit RT 2 im ersten Leerversuch. Jeder Wert der Abb. 18a (oben) umfaßt ein 5-min-Intervall, die Einteilung der Abszisse in die verschiedenen Phasen des Versuchs, in dem die Darbietungsfrequenz variiert wurde, korreliert direkt mit der Versuchszeit. Ein Abschnitt der Abszisse entspricht 5 min. Für die motorische Reaktion zeigt sich ein geringer Anstieg der Zeiten über die gesamte Dauer des Versuchs, der in der zweiten Versuchshälfte besonders ausgeprägt ist. Die motorische Reaktionszeit betrug am Anfang des Versuchs 290 ms und stieg bis auf 319 ms am Ende des Versuchs an. Die Fehlerbalken geben immer den Fehler des Mittelwerts an. Für RT 2 zeigt sich eine enge Korrelation mit der Anzahl der Darbietungen pro Minute. Der Anfangswert liegt bei 714 ms, bei der verdoppelten Anzahl der Darbietungen/min fällt die Verarbeitungszeit

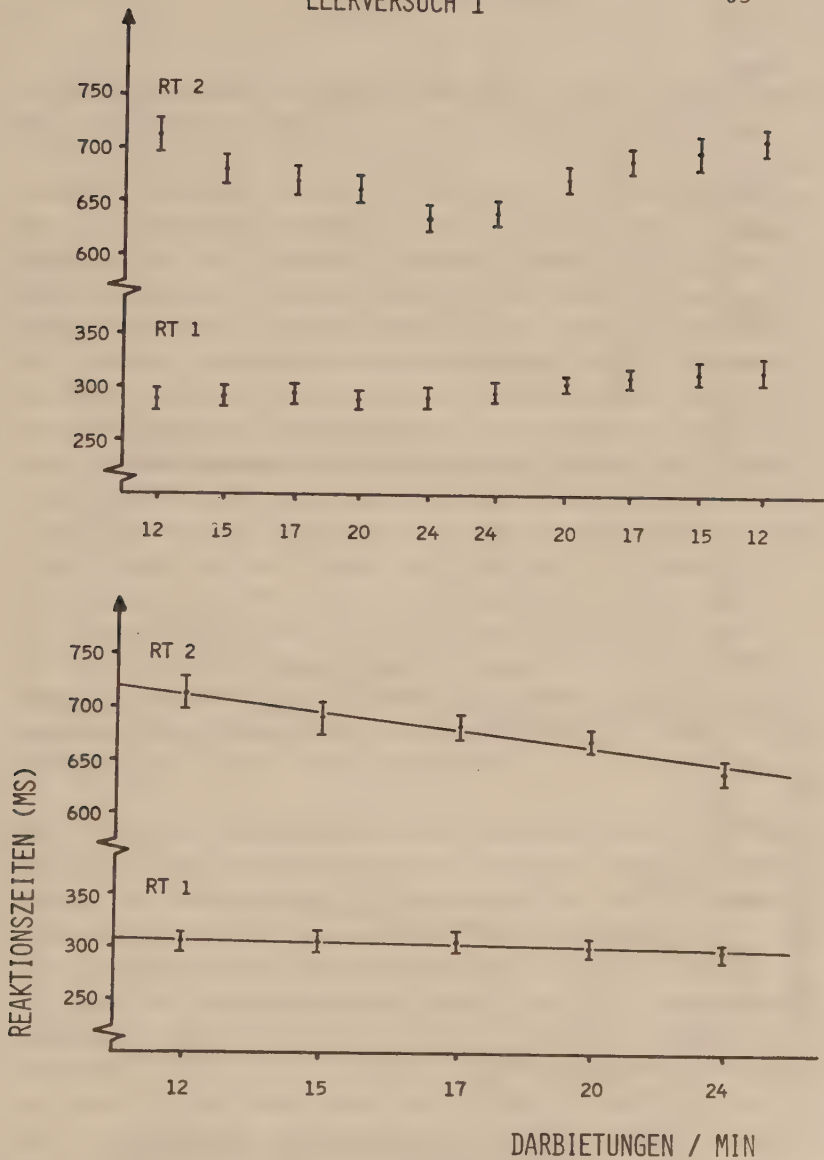
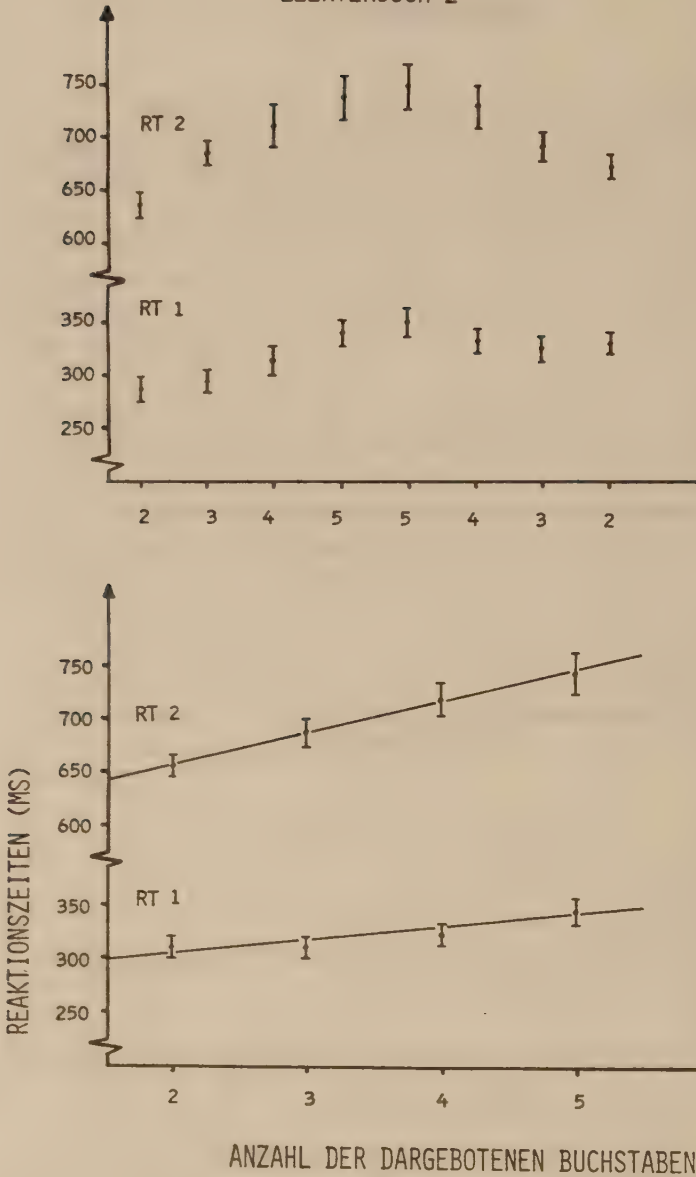


Abbildung 18a: Normierte Mittelwerte der motorischen Reaktionszeit RT 1 und der mentalen Verarbeitungszeit RT 2 in Abhängigkeit von der Anzahl der Darbietungen/min für 10 Probanden
 oben: gemäß dem Versuchsverlauf
 unten: gegenseitig gemittelt mit den Regressionsgeraden

LEERVERSUCH 2

- 66 -



ANZAHL DER DARGEBOTENEN BUCHSTABEN

Abbildung 18b: Normierte Mittelwerte der motorischen Reaktionszeit RT 1 und der mentalen Verarbeitungszeit RT 2 in Abhängigkeit von der Anzahl der dargebotenen Buchstaben für 10 Probanden
oben: gemäß dem Versuchsverlauf
unten: gegenseitig gemittelt mit den Regressionsgeraden

bis auf 640 ms ab, um dann wieder bis zum Endes des Versuchs auf 712 ms anzusteigen.

Genauere Auskunft über die Abhängigkeit der Reaktionszeiten von der Anzahl der Darbietungen/min gibt die Abb. 18a (unten), in der die Versuchsergebnisse gegenseitig gemittelt sind. Durch die Gliederung der Leerversuche in eine erste Hälfte mit graduell ansteigendem und in eine zweite Hälfte mit graduell sinkendem Schwierigkeitsgrad war es möglich, den Zeitfaktor und damit den Einfluß der Ermüdung auf das Versuchsergebnis zu eliminieren. Dazu wurden einfach die einander entsprechenden Versuchsphasen der ersten und zweiten Versuchshälfte zusammengefaßt. Der erste Wert der Abb. 18a (unten) wurde also aus dem 1. und dem 10. Wert der Abb. 18a (oben) errechnet etc. Jeder Wert der Abb. 18a (unten) ergibt sich somit aus 10 min Versuchszeit und umfaßt 120 - 240 Einzelwerte. Dieser zeitliche Sachverhalt ist zwar auf der Abszisse durch eine Spreizung angedeutet, ein direkter Zusammenhang zwischen dem Versuchsparameter Darbietungsfrequenz und der Versuchszeit wie in der Abb. 18a (oben) ist in der Abb. 18a (unten) nicht gegeben.

Mit steigender Anzahl der Darbietungen/min ergibt sich für die motorische Reaktionszeit RT 1 eine geringfügige Verminderung von 305 ms (12 Darbietungen/min) auf 296 ms (24 Darbietungen/min). Die Regressionsgerade zeigt einen leicht abfallenden Verlauf. Der Regressionskoeffizient beträgt -2,2 ms, der Korrelationskoeffizient ist -0,89. Der Mittelwertfehler liegt bei 8 ms. Der Abfall der mentalen Verarbeitungszeit RT 2 mit steigender Darbietungsgeschwindigkeit ist sehr viel stärker ausgeprägt. Einer Verarbeitungszeit von 713 ms bei der Darbietung von 12 Testzeichen in der Minute stehen 640 ms bei der Darbietung von 24 Testzeichen pro Minute gegenüber. Der Fehler des Mittelwerts beträgt etwa 12 ms. Ein Korrelationskoeffizient von -0,98 zeigt an, daß die Werte recht gut durch eine Gerade angenähert werden konnten. Der Regressionskoeffizient beträgt -16,8 ms.

Die Abb. 18b zeigt die entsprechenden Ergebnisse des zweiten Leerver Versuches, in dem die Anzahl der dargebotenen Buchstaben variiert wurde. Die obere Graphik zeigt wieder die normierten Mittelwerte im zeitlichen Verlauf des Versuchs. Sowohl RT 1 als auch RT 2 werden mit steigender Buchstabenanzahl größer und nehmen in der zweiten Versuchshälfte - wenn auch in vermindertem Ausmaß - mit sinkender Buchstabenanzahl wieder kleinere Werte an. Die Ausgangswerte werden aber in keinem Falle wieder erreicht. Die motorische Reaktionszeit steigt von 290 ms am Beginn des Versuchs auf 350 ms und fällt dann auf 325 ms ab. Die mentale Verarbeitungszeit beträgt am Beginn des Versuchs bei der Darbietung von 2 Buchstaben 640 ms, bei der Darbietung von 5 Buchstaben etwa 745 ms, und am Ende des Versuchs - das Testzeichen bestand wiederum aus 2 Buchstaben - lag RT 2 bei 673 ms. Der Fehler des Mittelwerts nahm für RT 1 und RT 2 mit steigender Buchstabenanzahl zu.

Die gegensinnige Mitteilung der Versuchsergebnisse (Abb. 18b unten) ergibt bei steigendem Schwierigkeitsgrad sowohl für RT 1 als auch für RT 2 ansteigende Zeiten. Die motorische Reaktionszeit liegt bei der Darbietung von 2 und auch von 3 Buchstaben bei 310 ms, bei 5 dargebotenen Buchstaben liegt sie bei 346 ms. Die Ausgleichsgerade hat einen Korrelationskoeffizienten von 0,94, der Anstieg von RT 1 pro Versuchsphase beträgt 12 ms. Die mentale Verarbeitungszeit RT 2 ist bei der Darbietung von 2 Buchstaben 657 ms und steigt von Versuchsphase zu Versuchsphase konstant an. Zur Verarbeitung eines Testzeichens von 5 Buchstaben war eine Zeit von durchschnittlich 743 ms nötig. Bei einem Korrelationskoeffizienten von 0,998 betrug der Regressionskoeffizient 29,6.

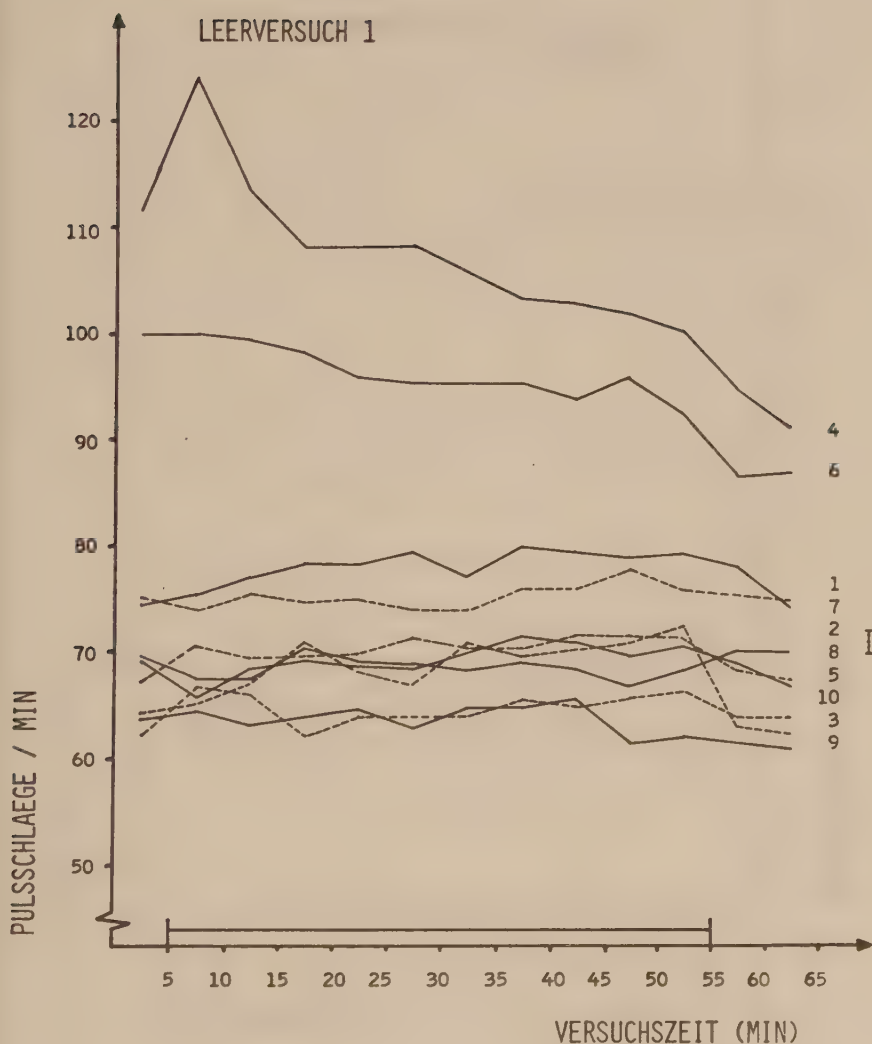


Abbildung 19a: Verlauf der 5-min-Mittelwerte des Pulses für die Probanden 1, ..., 10 im ersten Leer-versuch (veränderter Versuchsparameter: Anzahl der Darbietungen/min).

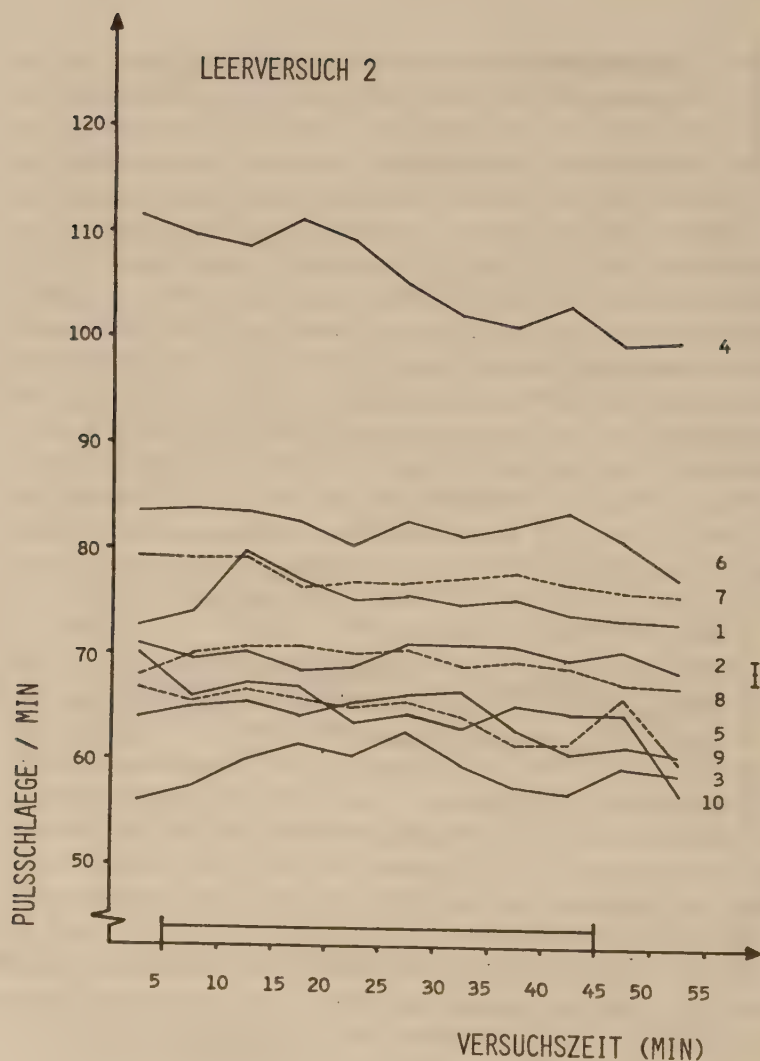
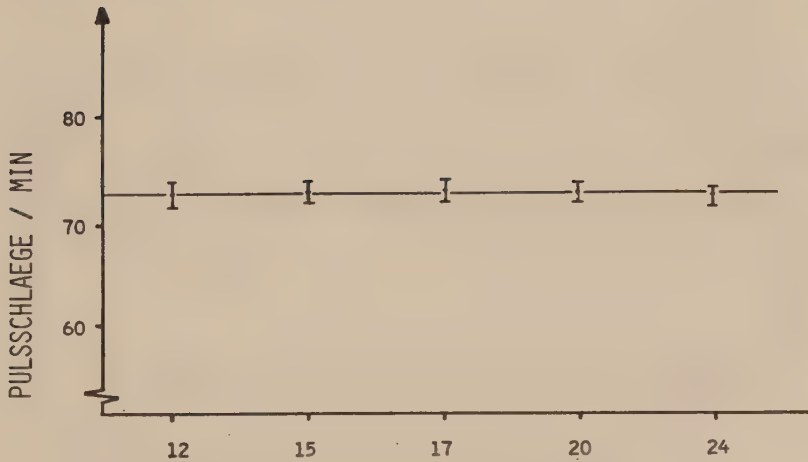
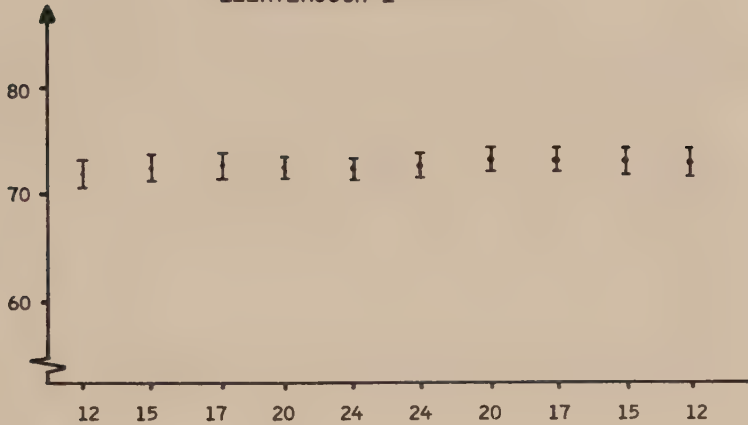


Abbildung 19b: Verlauf der 5-min-Mittelwerte des Pulses für die Probanden 1, ..., 10 im zweiten Leerversuch (veränderter Versuchsparameter: Anzahl der dargebotenen Buchstaben).

LEERVERSUCH 1



DARBIETUNGEN / MIN

Abbildung 20a: Normierte Mittelwerte der Pulsrate in Abhängigkeit von der Anzahl der Darbietungen pro Minute für 9 Probanden.
oben: gemäß dem Versuchsverlauf
unten: gegenseitig gemittelt mit der Regressionsgerade

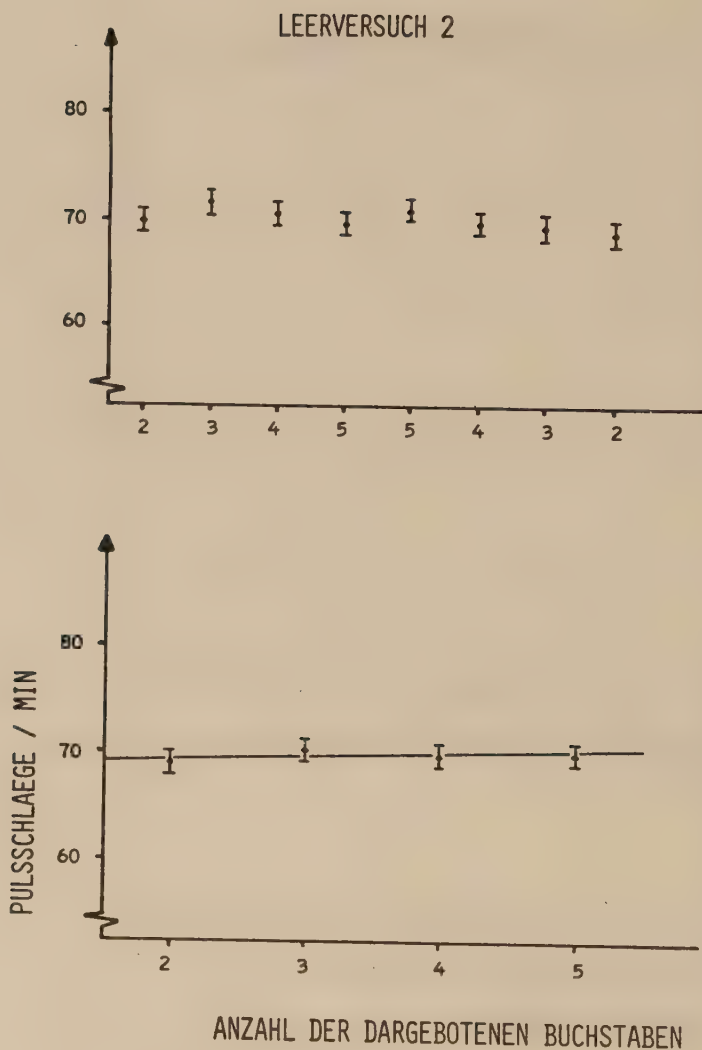


Abbildung 20b: Normierte Mittelwerte der Pulsrate in Abhängigkeit von der Anzahl der dargebotenen Buchstaben für 9 Probanden.
oben: gemäß dem Versuchsverlauf
unten: gegenseitig gemittelt mit der Regressionsgerade

4.3.1.2. Pulsrate

In den Abb. 19a - b sind die Ergebnisse der Pulsmessung im ersten und im zweiten Leerversuch für die 10 Probanden in Einzeldarstellungen aufgeführt. Der gemessene 30-s-Puls wurde auf 60 s umgerechnet und jeweils 5 min zu einem Mittelwert zusammengefaßt. Die eigentliche "Arbeitszeit" im Versuch ist durch einen Balken an der Abszisse gekennzeichnet. Sie dauerte im ersten Leerversuch von der 5. bis zur 55. Versuchsminute, im zweiten Leerversuch von der 5. bis zur 45. Minute. Die gemessenen Ausgangswerte (5 min am Beginn des Versuchs) und der Erholungspuls (10 min am Ende des Versuchs) sind ebenfalls dargestellt. Aus diesem Grunde ist auf der Abszisse die Versuchszeit aufgetragen und nicht die während des Versuchs veränderten Parameter Darbietungsfrequenz bzw. Buchstabenanzahl.

Der Verlauf der Pulsrate für die einzelnen Versuchspersonen ist relativ konstant. Die interindividuelle Streubreite ist aber sehr groß, wobei vor allem auffällt, daß Proband Nr. 4 eine Pulsrate von über 100 Schlägen/min aufweist. Da dieser Wert nicht mehr im physiologischen Bereich liegt, wurde diese Versuchsperson bei der weiteren Auswertung von Pulsrate und Pulsvariabilität, die ja in ursächlichem Zusammenhang mit der Herzfrequenz steht, nicht mehr berücksichtigt.

Wegen der großen interindividuellen Streubreite wurde keine einfache, sondern eine normierte Mittelung durchgeführt. Als Normierungsfaktor wurde die mittlere Pulsrate jeder Versuchsperson in beiden Leerversuchen ermittelt. Die Abb. 20a - b, die analog zu den Abb. 18a - b sind, zeigen die Ergebnisse. Im ersten Leerversuch liegen alle Mittelwerte zwischen 72,1 und 73,6 Pulsschlägen/min, wie die Abb. 20a (oben) zeigt. Das Ergebnis der gegensinnigen Mittelung ist in der Abb. 20a (unten) dargestellt. Unabhängig von der Anzahl der Darbietungen/min bleibt die Pulsrate konstant bei ca. 73

Pulsschlägen/min. Die Regressionsgerade ist durch einen Korrelationskoeffizienten von 0,09 und einen Regressionskoeffizienten von 0,007 charakterisiert.

Die entsprechenden Werte des zweiten Leerversuchs zeigen die Abb. 20b. Sie liegen etwas niedriger zwischen 68,3 und 71,5 Pulsschlägen/min. In der Abb. 20b (oben) ist ein leicht wellenförmiger Verlauf der Pulsrate, aber keine Tendenz zu höheren oder niedrigeren Werten im Verlauf des Versuchs erkennbar. Nach der Eliminierung des Zeitfaktors ist in der Abb. 20b (unten) ein geringfügiger Anstieg der Pulsrate in Abhängigkeit von der Buchstabenzahl erkennbar. Bei der Darbietung eines Testzeichens aus 2 Buchstaben wurde eine Herzfrequenz von 69,2 Schlägen/min gemessen, bei der Darbietung von 5 Buchstaben betrug sie 70,2 Schläge/min. Der Anstieg war allerdings nicht gleichförmig, der höchste Wert für die Pulsrate war mit durchschnittlich 70,5 Schlägen/min bei der Darbietung von 3 Buchstaben zu verzeichnen. Die Ausgleichsgerade hat einen positiven Regressionskoeffizienten von 0,3 Pulsschlägen/min, der Korrelationskoeffizient beträgt 0,68.

4.3.1.3. Integrale Pulsvariabilität

Die Abb. 21a - b zeigen den Verlauf der 5-min-Mittelwerte der Integralen Pulsvariabilität für die zehn Versuchspersonen in den beiden Leerversuchen. Für beide Versuche zeigt sich ein recht uneinheitliches Bild. Einige Versuchspersonen zeigen einen relativ stabilen Verlauf der Pulsvariabilität während der Versuche (Proband Nr. 2, 8, 9), bei anderen dagegen zeigt sich eine sehr große Streuung der gemessenen Werte (Proband Nr. 1, 4, 6, 7). Dabei fällt vor allem auf, daß sich für Versuchspersonen mit niedrigen Werten für die Integrale Pulsvariabilität eine gleichmäßigere Verlaufskurve ergibt als für Probanden mit hohen Werten der Pulsvariabilität. Auf eine Fehlerangabe wurde verzichtet,

da dieser für die einzelnen Versuchspersonen recht unterschiedlich ist. Tendenzen lassen sich aus den Abbildungen nicht ablesen. Proband Nr. 4, dessen individuelle Verlaufskurven in den Abb. 21a - b noch dargestellt sind, wurde für die Berechnung des Gesamtergebnisses nicht berücksichtigt, da wegen seiner unphysiologisch hohen Pulsrate auch Auswirkungen auf die Pulsvariabilität erwartet werden müssen.

Als Normierungsfaktor wurde die mittlere Pulsvariabilität jeder Versuchsperson aus beiden Leerversuchen errechnet. Die normierten Mittelwerte der Integralen Pulsvariabilität des untersuchten Kollektivs sind in den Abb. 22a - b (analog zur Abb. 18) dargestellt. Die Werte des ersten Leerversuchs liegen in dem Bereich von 305 - 363 relativen Einheiten der Pulsvariabilität. Der Fehler des Mittelwerts ist mit ca. 7 % (absolut ca. 25 relative Einheiten) trotz der Normierung immer noch recht groß. Schon die Abb. 22a (oben) zeigt für die kleinste Darbietungsfrequenz die größten Werte der Pulsvariabilität. Die gegensinnige Mittelung ergibt einen im Verhältnis zum Mittelwertfehler geringen Abfall der Pulsvariabilität von 363 auf 324 relative Einheiten bei ansteigender Darbietungsfrequenz. Die lineare Regression ergibt bei einer guten Näherung der Werte durch eine Gerade - der Korrelationskoeffizient errechnet sich zu $-0,92$ - einen Abfall von 8,42 relativen Einheiten der Pulsvariabilität pro Versuchsphase zu 10 Minuten.

Im zweiten Leerversuch (Abb. 22b) liegt das Niveau der Werte etwas höher im Bereich von 356 bis 429 relativen Einheiten. Der Fehler des Mittelwerts zeigt die gleiche Größenordnung wie im ersten Leerversuch (7 %), der Abfall der Werte mit steigendem Schwierigkeitsgrad der Versuchsarbeit, der durch eine größere Anzahl der dargebotenen Buchstaben erreicht wurde, ist stärker ausgeprägt. Die Abb. 22b (unten) zeigt für die ersten drei Versuchsphasen - das Testzeichen bestand aus 2, 3 und 4 Buchstaben - einen nur geringen

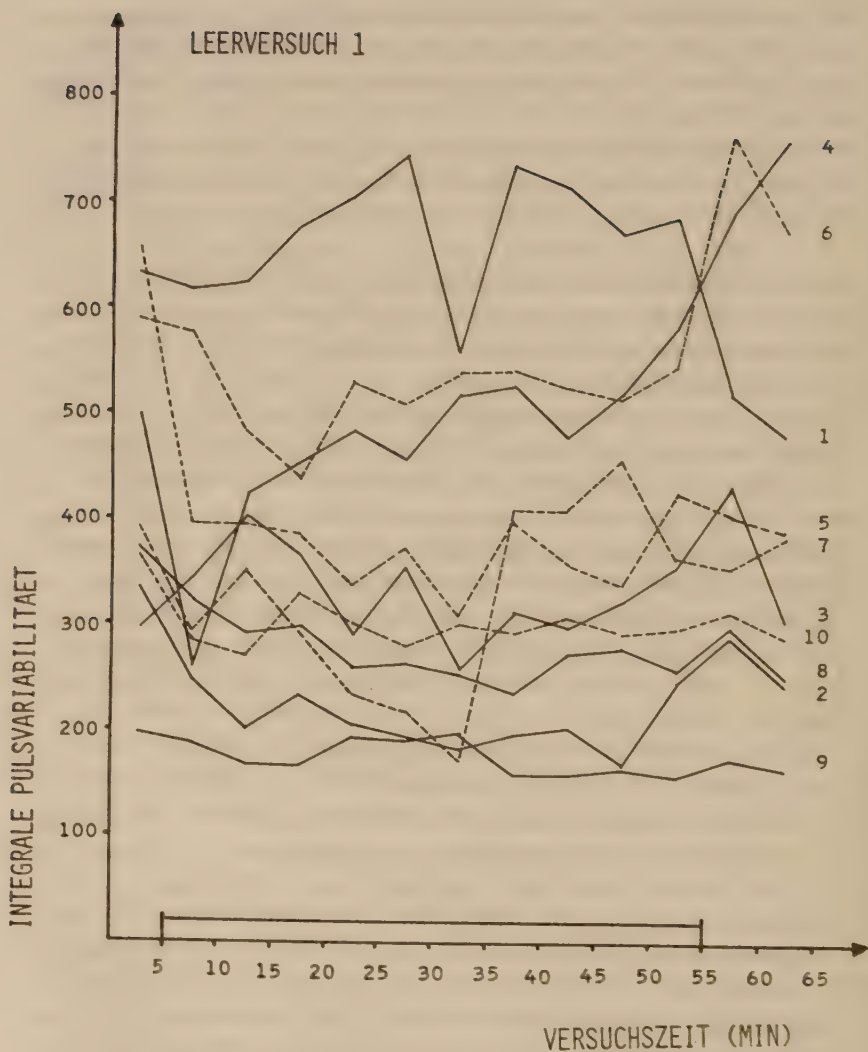


Abbildung 21a: Verlauf der 5-min-Mittelwerte der Integralen Pulsvariabilität für die Probanden 1, ...10 im ersten Leerversuch (veränderter Versuchsparameter: Anzahl der Darbietungen/min).

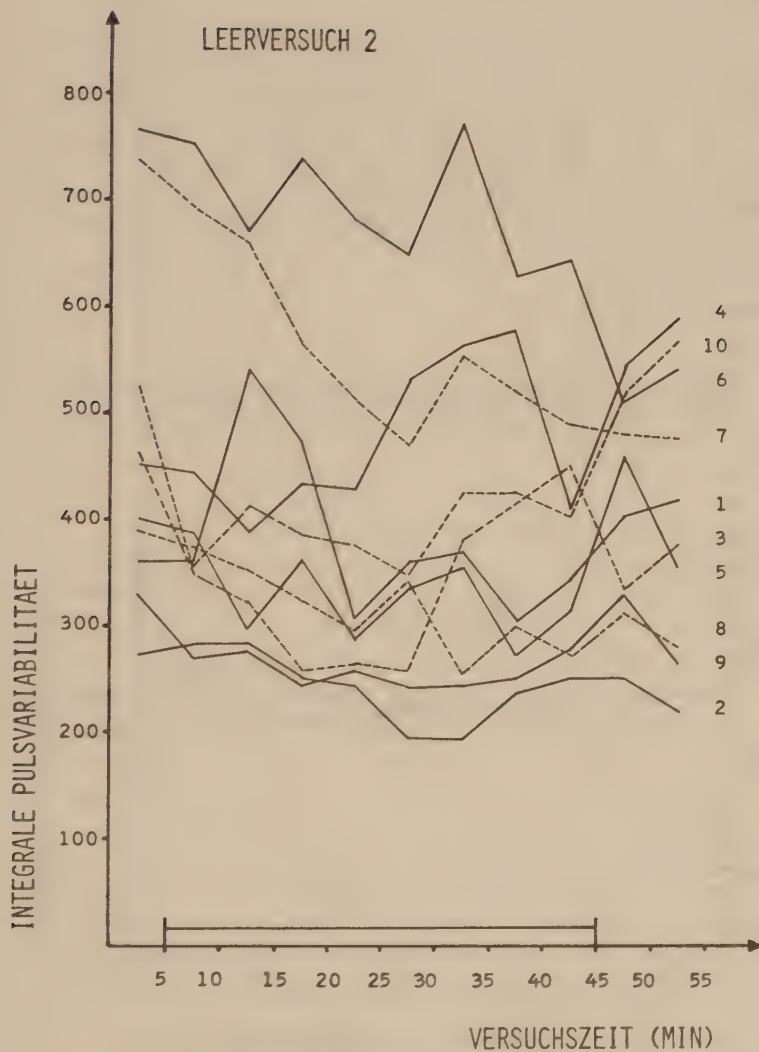


Abbildung 21b: Verlauf der 5-min-Mittelwerte der Integralen Pulsvariabilität für die Probanden 1,...,10 im zweiten Leerverversuch (veränderter Versuchsparameter: Anzahl der dargebotenen Buchstaben).

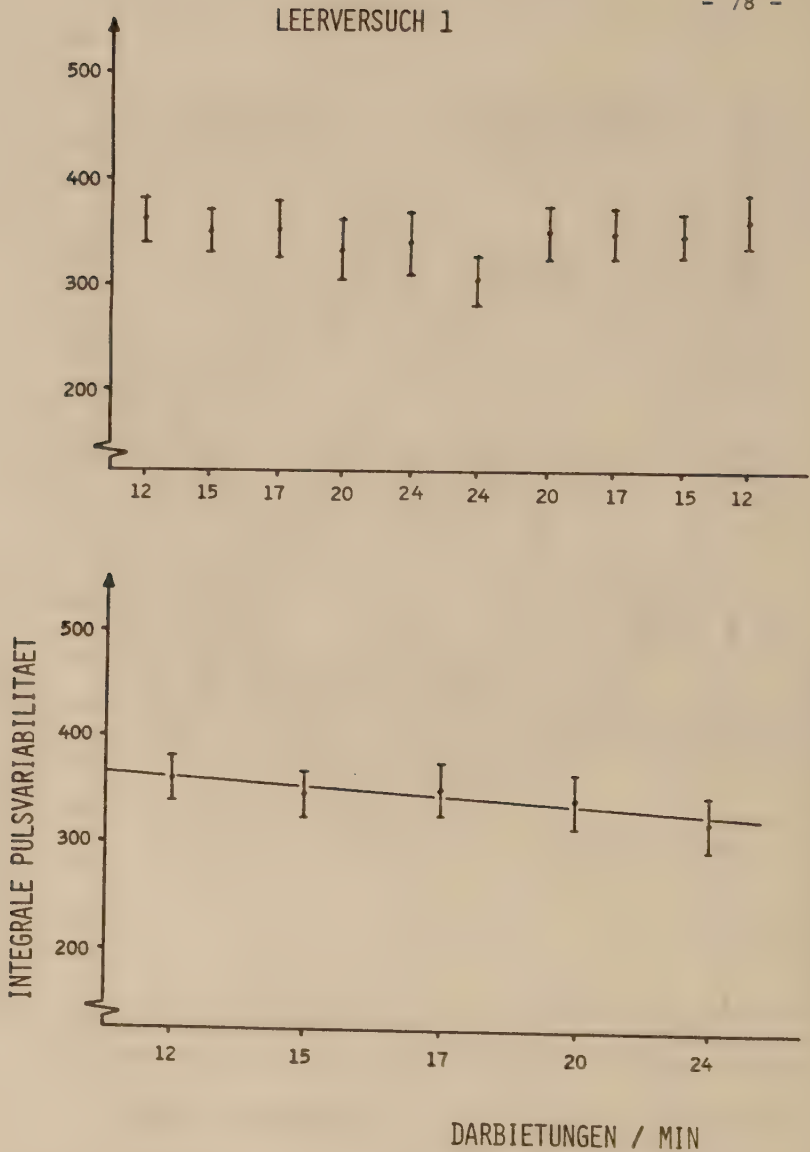
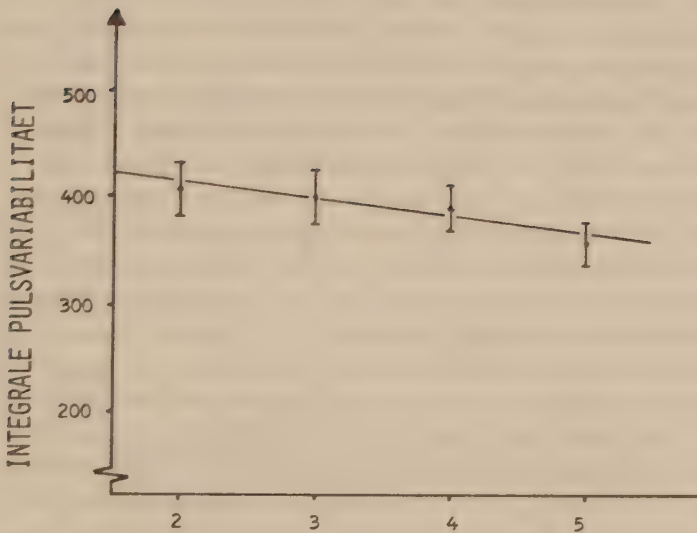
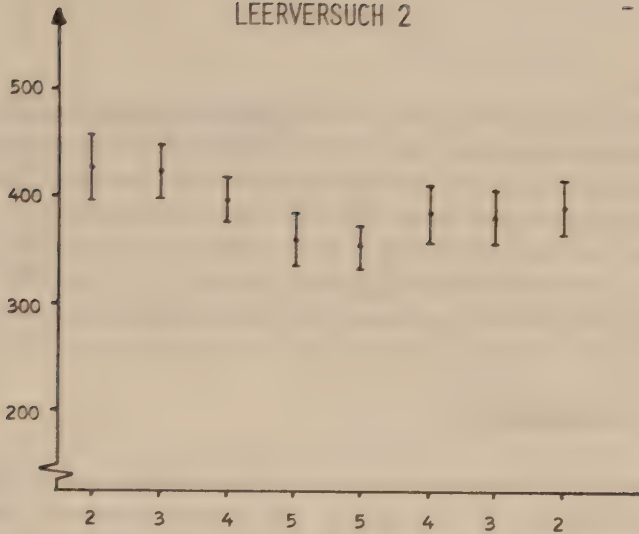


Abbildung 22a: Normierte Mittelwerte der Integralen Pulsvariabilität in Abhängigkeit von der Anzahl der Darbietungen pro Minute für 9 Probanden oben: gemäß dem Versuchsverlauf unten: gegenseitig gemittelt mit der Regressionsgeraden.



ANZAHL DER DARGEBOTENEN BUCHSTABEN

Abbildung 22b: Normierte Mittelwerte der Integralen Pulsvariabilität in Abhängigkeit von der Anzahl der dargebotenen Buchstaben für 9 Probanden
oben: gemäß dem Versuchsverlauf
unten: gegenseitig gemittelt mit der Regressionsgeraden.

Abfall der Pulsvariabilität von 411 auf 393 relative Einheiten. Die Erweiterung des Testzeichens auf 5 Buchstaben bewirkte dagegen ein vergleichsweise rapides Absinken der Integralen Pulsvariabilität auf 359 relative Einheiten. Dieser Sachverhalt drückt sich in der Ausgleichsgeraden, die einen Korrelationskoeffizienten von $-0,93$ aufweist, in einem Regressionskoeffizienten von $-16,6$ relativen Einheiten aus.

4.3.1.4. Lesefehler

Die prozentuale Fehlerhäufigkeit für die beiden Leerversuche zeigt die Abb. 23. Im ersten Leerversuch schwankt die Fehlerhäufigkeit in einem relativ kleinen Bereich von 1,8 bis 3,5 %. Die Steigerung der Darbietungsfrequenz wirkt sich also nicht in einer starken Zunahme der Fehlerzahl aus. Die Probanden machten die wenigsten Fehler nicht bei der langsamsten Darbietungsfrequenz von 12 Darbietungen pro Minute. Für das richtige Lesen einer Kombination aus 3 Buchstaben erwies sich eine mittlere Darbietungsfrequenz von 17 Darbietungen/min am günstigsten. In diesen Versuchsphasen wurden mit durchschnittlich 2,05 % die wenigsten Fehler gemacht. Durchschnittlich 2,5 % bzw. 2,6 % Fehler ergaben sich für 20 bzw. 15 Darbietungen/min. Bei der langsamsten Darbietungsgeschwindigkeit wurden immerhin 3,0 % Fehler gemacht. Die größte Fehlerhäufigkeit (3,35 %) ergab sich erwartungsgemäß für die größte Darbietungsfrequenz mit 24 Darbietungen/min. Insgesamt sind jedoch die Unterschiede in der Fehlerhäufigkeit nur gering. Die absolute Fehlerzahl würde hier das Bild verfälschen, da mit der Zahl der Darbietungen pro Minute auch die Anzahl der gelesenen Buchstabenkombinationen ansteigt.

Im zweiten Leerversuch wirkt sich der veränderte Parameter, nämlich die Anzahl der Buchstaben pro Testzeichen, sehr viel stärker auf die prozentuale Fehlerhäufigkeit aus. Durch-

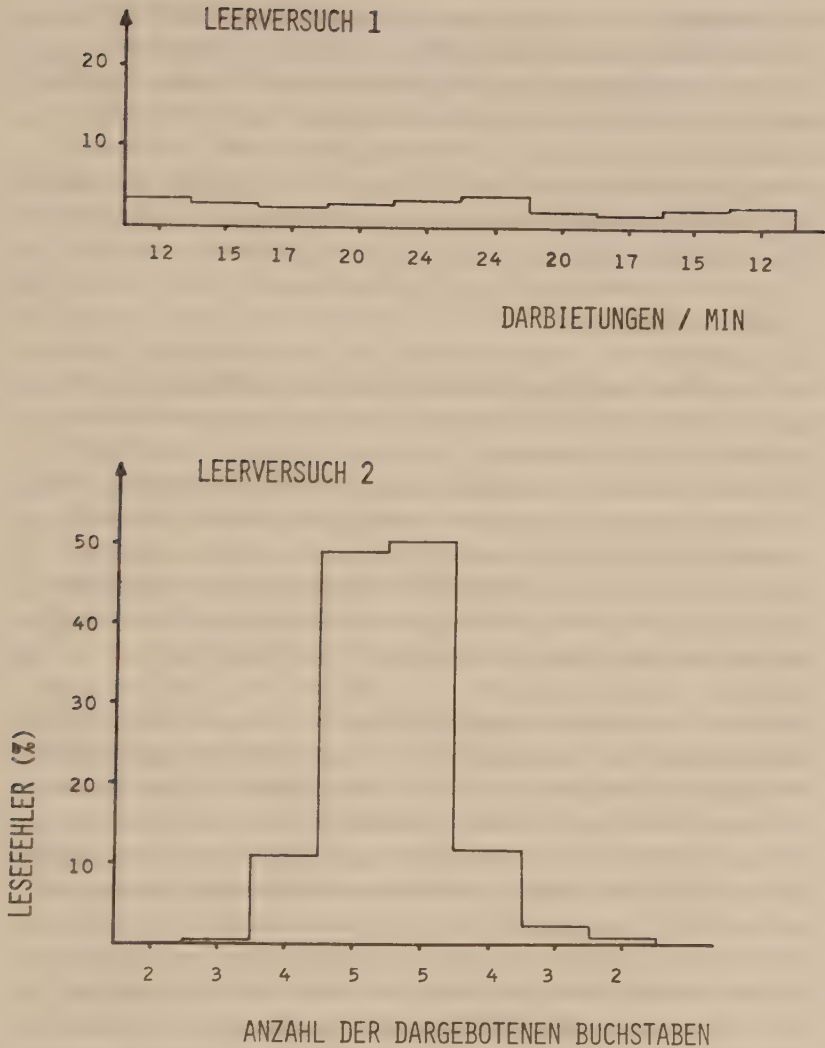


Abbildung 23: Prozentuale Fehlerhäufigkeit der 10 Probanden
oben: in Abhängigkeit von der Anzahl der Darbietungen/min
unten: in Abhängigkeit von der Anzahl der dargebotenen Buchstaben

schnittlich 0,25 % Fehler bei 2 dargebotenen Buchstaben, 1,3 % Fehler für 3, 11,4 % Fehler für 4 und 49,7 % Fehler für 5 dargebotene Buchstaben sprechen für eine starke Abhängigkeit der prozentualen Fehlerhäufigkeit von der Anzahl der dargebotenen Buchstaben. Einige der Versuchspersonen (Proband Nr. 2,6,8) waren bei der Darbietung von 5 Buchstaben offensichtlich an der Grenze ihrer Leistungsfähigkeit angelangt.

4.3.2. Diskussion

Das Ziel der Leerversuche war, einen eventuellen Zusammenhang zwischen mentaler Belastung und der Integralen Pulsvariabilität nachzuweisen. Dazu wurde der Schwierigkeitsgrad der geforderten Versuchsarbeit graduell variiert. Im ersten Leerversuch wurde die Anzahl der Darbietungen/min verändert, im zweiten Leerversuch die Anzahl der dargebotenen Buchstaben. Systematische Veränderungen der Integralen Pulsvariabilität sollten dann auf die verschiedenen Niveaus der mentalen Belastung zurückzuführen sein.

Die Nivellierung der mentalen Belastung für ein Kollektiv von 10 Versuchspersonen gestaltete sich als sehr schwierig. Obwohl alle Versuchspersonen von Ausbildung - alle Probanden waren Studenten - und Altersstufe - das Alter betrug 22 bis 29 Jahre - her als gleich einzuschätzen waren, mußte von unterschiedlichen Leistungsvoraussetzungen ausgegangen werden. Der Schwierigkeitsgrad einer Arbeit läßt sich objektiv nicht messen, die Zahl der Fehlleistungen gestattet jedoch zumindest eine Aussage. Für die Fehlerhäufigkeit gibt es im ersten Leerversuch nur von der 3. Versuchsphase (17 Darbietungen/min) zur 5. Versuchsphase (24 Darbietungen/min) und von der 4. (20 Darbietungen/min) zur 5. Versuchsphase eine signifikante Zunahme der Fehlerhäufigkeit ($p = 0,01$ bzw. $0,02$). Trotzdem kann bei steigender Darbietungsgeschwindigkeit eine Zunahme der Belastung angenommen

werden. Es muß dabei allerdings auch die motorische Komponente der Versuchsarbeit, die von der Verringerung des Signalbestandes in gleicher Weise wie die mentale Komponente betroffen war, beachtet werden.

Im zweiten Leerversuch ergibt sich für jede Versuchsphase mit steigender Anzahl der dargebotenen Buchstaben eine signifikante Zunahme ($p = 0,01$) der prozentualen Fehlerhäufigkeit. Kein Proband macht hier eine Ausnahme. Günstig für das Versuchsziel erscheint hier, daß die zunehmende Belastung durch Erhöhung der Buchstabenzahl pro Testzeichen praktisch ausschließlich die mentale Komponente der Versuchsarbeit betrifft.

Durch die Variation der Versuchsbedingungen konnten auch systematische Veränderungen der motorischen Reaktionszeit RT 1 und der mentalen Verarbeitungszeit RT 2 erwartet werden. Im ersten Leerversuch erwies sich die geringfügige Verringerung von RT 1 bei ansteigender Zahl der Darbietungen/min als unerheblich. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Versuchsphasen sind statistisch nicht signifikant. Lediglich die 5. Versuchsphase (24 Darbietungen/min) zeigt für 8 der 10 Probanden gegenüber der 3. Versuchsphase (17 Darbietungen/min) eine Verkürzung von RT 1, die statistisch signifikant ist ($p = 0,05$). Es kann aber wohl trotzdem davon ausgegangen werden, daß die motorische Reaktionszeit von der ansteigenden Darbietungsfrequenz nicht beeinflußt wird. Dafür spricht auch der sehr geringe Regressionskoeffizient ($-2,2$ ms in 10 min Versuchszeit). Anders verhält es sich mit der mentalen Verarbeitungszeit RT 2, die mit steigender Darbietungsgeschwindigkeit stark abfällt. Nur zwischen der 2. und 3. Versuchsphase (15 bzw. 17 Darbietungen/min) findet sich kaum ein Unterschied für RT 2. Die Verringerung von RT 2 ist von der 1. zur 2. Versuchsphase (12 bzw. 15 Darbietungen/min) mit $p = 0,01$ sowie von der 3. zur 4. Versuchsphase (17 bzw. 20 Darbietungen/min) mit $p = 0,05$

signifikant. Die mentale Vorbereitungszeit in der 5. Versuchsphase (24 Darbietungen/min) ist gegenüber den vorhergehenden Versuchsphasen signifikant verkürzt ($p = 0,01$). Dieses Ergebnis überrascht etwas, da den Probanden ja kein komplexeres Testzeichen dargeboten wurde wie etwa im 2. Leerversuch, sondern sie lediglich unter Zeitdruck gesetzt wurden. Die Probanden waren angehalten, während des ganzen Versuchs möglichst schnell den Fußschalter zu betätigen und zu antworten. Das Ergebnis zeigt, daß der gegenüber der einfachen motorischen Reaktion doch wesentlich komplexere Vorgang der Musterverarbeitung und Informationsausgabe in "normalen" Situationen nicht optimal schnell abläuft. Exogene Faktoren wie Streß, sicherlich auch endogene Faktoren (Motivation) können den Musterverarbeitungs- und Informationsausgabeprozess optimieren, während der Spielraum für die motorische Reaktion nicht so groß ist.

Im 2. Leerversuch zeigt sich sowohl für RT 1 als auch für RT 2 ein deutlicher Anstieg. Die Verlängerung der mentalen Verarbeitungszeit bei der Darbietung von Buchstabenkombinationen mit ansteigender Zeichenzahl, was den Komplexitätsgrad des zu verarbeitenden Musters wesentlich erhöht, konnte erwartet werden und fiel dementsprechend deutlich aus. Die mentale Verarbeitungszeit in den einzelnen Versuchsphasen zeigt bei der Steigerung von zwei auf drei Zeichen eine signifikante ($p = 0,01$) und bei der Steigerung von drei auf vier sowie von vier auf fünf Buchstaben ebenfalls eine signifikante Verlängerung ($p = 0,02$). Der Anstieg der motorischen Reaktionszeit bei steigender Zeichenzahl, deren Darbietung ja erst nach der motorischen Reaktion erfolgte, ist ein Kunstprodukt und offensichtlich darauf zurückzuführen, daß einige der Versuchspersonen (Proband Nr. 1, 4, 7) bei der Darbietung von Kombinationen aus vier bzw. fünf Buchstaben nicht mit maximaler Schnelligkeit den Fußschalter betätigten, sondern sich unbewußt mit einer geringen Verzögerung einen Vorteil für das Erkennen der Test-

zeichen verschafften. Dieses Verhalten war aber nicht einheitlich, so daß das statistische Prüfverfahren keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Versuchsphasen ergab.

Der Verlauf der Pulsrate war in beiden Leerversuchen recht konstant, was durch die Regressionskoeffizienten von $+0,007$ für LV 1 und $+0,3$ für LV 2 unterstrichen wird. Die statistische Prüfung ergibt lediglich zwischen der 3. und der 5. Versuchsphase im 1. Leerversuch (17 bzw. 24 Darbietungen/min) eine Abnahme der Pulsrate, die auf dem 5-%-Niveau signifikant ist. Die Prüfung aller anderen Versuchsphasen ergibt keine Signifikanzen. Auch im 2. Leerversuch sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsphasen festzustellen. Die Veränderung der mentalen Belastung durch die Darbietung einer unterschiedlichen Anzahl von Buchstabenkombinationen pro Zeiteinheit bzw. durch die Variation eines Testzeichens geht also nicht mit einer systematischen Veränderung der Pulsrate einher.

Für die Integrale Pulsvariabilität wäre bei einem zur Pulsrate reziproken Verlauf ebenfalls ein über den gesamten Versuch relativ konstanter Wert zu erwarten. Für beide Leerversuche zeigt sich jedoch mit steigendem Schwierigkeitsgrad der Versuchsarbeit eine abfallende Tendenz. Die Regressionskoeffizienten sind mit $-8,42$ im 1. Leerversuch und mit $-16,6$ auch für den 2. Leerversuch negativ. Die Versuchspersonen verhalten sich jedoch nicht einheitlich. Ein Blick auf die Verlaufskurven der Pulsvariabilität der einzelnen Probanden (Abb. 21a - b) zeigt vielmehr ein recht uneinheitliches Bild mit sehr großen individuellen Schwankungen. Einige Versuchspersonen, insbesondere solche mit niedrigen Werten für die Integrale Pulsvariabilität, zeigen eine recht stabile Verlaufskurve mit einem deutlichen Minimum für die Versuchsphasen mit den größten Leistungsanforderungen (LV 1: Proband Nr. 3, 5, 8; LV 2: Proband Nr. 2, 3, 9), während

sich bei anderen Versuchspersonen ein nahezu konstanter Verlauf oder ein Verlauf mit sehr großen Schwankungen, deren Ursache nicht erklärbar ist, zeigt. Das statistische Prüfverfahren ergibt für den 1. Leerversuch trotz insgesamt fallender Tendenz der Integralen Pulsvariabilität einen signifikanten Unterschied nur zwischen der 1. (12 Darbietungen/min) und der 5. Versuchsphase (24 Darbietungen/min) mit $p = 0,05$. Im 2. Leerversuch ist die Tendenz der Verringerung der Pulsvariabilität mit den steigenden Leistungsanforderungen bei der Versuchsarbeit noch stärker korreliert. Alle neun Versuchspersonen weisen in der 4. Versuchsphase (Testzeichen mit 5 Buchstaben) niedrigere Durchschnittswerte für die Integrale Pulsvariabilität auf als in der 1. Versuchsphase, in der nur 2 Buchstaben dargeboten wurden. Der Unterschied ist signifikant ($p = 0,01$). Die Versuchsphase, in der von den Probanden 5 Buchstaben gelesen werden mußten, stellte auch nach subjektiver Beurteilung von Testleiter und Testpersonen die weitaus größten Leistungsanforderungen. Während sich für diese Versuchsphase auch gegenüber der 2. und 3. Versuchsphase (Darbietung von 3 bzw. 4 Buchstaben) signifikante Unterschiede für die Integrale Pulsvariabilität feststellen lassen, sind die Differenzen zwischen den ersten drei Versuchsphasen (Darbietung von 2, 3 und 4 Buchstaben) nur gering und statistisch nicht signifikant, obwohl nach subjektiver Einschätzung auch schon die 3. Versuchsphase deutlich erhöhte Leistungsanforderungen an die Versuchspersonen stellte.

In beiden Leerversuchen ist also die Integrale Pulsvariabilität bei steigender mentaler Belastung signifikant erniedrigt, wobei dies für den 2. Leerversuch, in dem die Steigerung der Leistungsanforderungen ausschließlich die mentale Komponente betrifft, stärker ausgeprägt ist. Im 1. Leerversuch sind Einflüsse der motorischen Komponente der Versuchsarbeit, die ja ebenso stark wie die mentale Komponente forciert wurde, nicht auszuschließen. Aus diesem Ergebnis

einen allgemein gültigen Maßstab für die Bewertung mentaler Arbeit ableiten zu wollen, ist sicherlich nicht möglich. Sehr große Unterschiede in der mentalen Belastung mögen in der Integralen Pulsvariabilität ihren Niederschlag finden. Es scheint aber, daß feinere Abstufungen der mentalen Belastung in ihrer Auswirkung auf die Pulsvariabilität von anderen Einflüssen, denen die Pulsvariabilität unterliegt, überdeckt werden.

Faßt man die Ergebnisse der Leerversuche zusammen, so kann festgestellt werden, daß bei Erhöhung der Leistungsanforderungen durch steigende Darbietungsfrequenz (erster Leerversuch) die Integrale Pulsvariabilität bei konstanter Pulsrate signifikant niedrigere Werte annimmt. Die motorische Reaktionszeit ändert sich nicht, die mentale Verarbeitungszeit wird durch den auferlegten Zeitdruck signifikant kürzer. Bei der Steigerung der mentalen Belastung durch die Darbietung von Testzeichen mit einem größeren Informationsgehalt (2. Leerversuch) zeigt sich ebenfalls ein signifikanter Abfall der Pulsvariabilität bei gleichbleibender Pulsrate. Die mentale Verarbeitungszeit verlängert sich signifikant, die motorische Reaktionszeit bleibt gleich.

5. Zusammenfassung

In der Studie wird der mögliche Zusammenhang zwischen mentaler Belastung und Integraler Pulsvariabilität untersucht. Zusätzlich wurden Experimente zum Einfluß des Psychopharmakons Kavain auf die Leistungsfähigkeit bei mentaler Arbeit durchgeführt. In den Experimenten wurden motorische Reaktionszeiten mit stochastisch erfolgreichem akustischem Auslösereiz und Verarbeitungszeiten für visuelle Muster (Buchstabenarrays) gemessen. Als physiologische Parameter für die Belastungsbewertung diente die Pulsrate und die Integrale Pulsvariabilität. Ferner wurde die Zahl der Lesefehler registriert.

A) Kavain

In einer Doppelblindstudie wurde die Wirkung des Psychopharmakons Kavain (2 x 200 mg/die) untersucht. Die Versuche fanden nach ein- bzw. siebentägiger Medikation statt. Die motorischen Reaktionszeiten stiegen im Verlauf aller Einzelversuche geringfügig an. Auch bei der mentalen Verarbeitungszeit, die einen wellenförmigen Verlauf zeigt, läßt sich in den Placebo-Versuchen eine leicht ansteigende Tendenz erkennen, die auf einen Ermüdungseffekt schließen läßt. Dieser Effekt tritt während der Einnahme von Kavain nicht auf, der Verlauf der Verarbeitungszeit visueller Muster zeigt eher fallende Tendenz. Auf die objektiv erbrachte Leistung (Lesefehler), auf die physiologischen Parameter (Pulsrate, Integrale Pulsvariabilität) und auf die subjektive Selbsteinschätzung vor den Versuchen kann nach Auswertung aller Meßergebnisse kein signifikanter Einfluß des Präparats nachgewiesen werden. Kavain beeinflusst die Leistung bei mentaler Arbeit nicht.

B) Pulsvariabilität und mentale Belastung

Die Belastung während des Versuchs wurde einmal durch Erhöhung der Darbietungsfrequenz der Testreize, zum anderen durch die Änderung der Buchstabenzahl verändert. Bei stufenweiser Steigerung der Darbietungsfrequenz von 12 auf 24 Darbietungen pro Minute stieg die Fehlerzahl nur geringfügig an. Die wenigsten Fehler wurden bei einer mittleren Darbietungsfrequenz von 17 Darbietungen/min gemacht. Es ergeben sich bei steigenden Leistungsanforderungen signifikant niedrigere Werte ($p = 0,05$) für die Integrale Pulsvariabilität. Die Pulsrate bleibt hingegen über alle Versuchsphasen hinweg konstant. Die motorische Reaktionszeit ändert sich nicht, während die mentale Verarbeitungszeit durch den aufgelegten Zeitdruck signifikant ($p = 0,01$) niedrigere Werte annimmt.

Die Erhöhung des Informationsgehaltes der visuellen Testzeichen (Darbietung von 2, 3, 4 und 5 Buchstaben) ließ die prozentuale Fehlerhäufigkeit sehr stark ansteigen. Die Tendenz zur Verringerung der Pulsvariabilität mit steigender Leistungsanforderung ist stärker als im Frequenzversuch ausgeprägt ($p = 0,01$). Insbesondere die Versuchsphase mit dem höchsten Niveau der mentalen Belastung (Darbietung von 5 Buchstaben) hebt sich von allen anderen Versuchsphasen sehr deutlich ab. Die Pulsrate veränderte sich nicht systematisch. Mit ansteigender Buchstabenzahl verlängert sich die mentale Verarbeitungszeit ($p = 0,01$), während die motorische Reaktionszeit gleich bleibt.

In beiden Versuchen ist also die Integrale Pulsvariabilität bei ansteigender mentaler Belastung signifikant erniedrigt. Erfolgt die Steigerung der Leistungsanforderungen ausschließlich über die mentale Komponente der Versuchsarbeit, ist dieser Effekt stärker ausgeprägt. Im ersten Versuch können Einflüsse der motorischen Komponente der Versuchsarbeit nicht ausgeschlossen werden. Die Ergebnisse sprechen dafür, daß große Unterschiede in der mentalen Belastung ihren Nieder-

schlag in der Integralen Pulsvariabilität finden. Feinere Abstufungen der mentalen Belastung scheinen jedoch in ihrer Auswirkung auf die Pulsvariabilität von anderen Einflüssen, denen die Herzhrythmik zweifellos unterliegt, überdeckt zu werden.

6. Literatur

- ABRAM, W.P., J.A. ALLEN & I.C. RODDIE: The effect of pain on human sweating.
J. Physiol. (London) 235 (1973): 741 - 747
- ALEXANDER, F.: Psychosomatic Medicine. Norton, London 1950
- ALLEN, J.A., J.E. ARMSTRONG & I.C. RODDIE: The regional distribution of emotional sweating in man.
J. Physiol. (London) 235 (1973): 749 - 759
- BARTENWERFER, H.: Beiträge zum Problem der psychischen Beanspruchung. Westdeutscher Verlag, Köln und Opladen 1960
- BARTENWERFER, H., L. KOTTER & W. SICKEL: Beiträge zum Problem der psychischen Beanspruchung, 2.Teil, Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen Nr. 1131, Köln und Opladen 1963
- BARTZ, A.E.: Reaction time as a function of stimulus uncertainty on a single trial.
Perception & Psychophysics 9 (1971): 95 - 96
- BEARD, E.F. & C.A. OWEN: Cardiac arrhythmias during exercise testing in healthy men.
Aerospace Med. 44 (1973): 286 - 289
- BLITZ, P.S., J. HOGSTRATEN & G. MULDER: Mental load, heart rate and heart rate variability.
Psychol. Forsch. 33 (1970): 277 - 288
- BORNEMANN, E.: Untersuchungen über den Grad der geistigen Beanspruchung.
Arbeitsphysiologie 12 (1942)
- BOUMA, H., & L.C.J. BAGHUIS: Hippias of the pupil: Periods of slow oscillations of unknown origin.
Vision Res. 11 (1971): 1345 - 1351
- BROWN, I.D., & E.C. POULTON: Measuring the Spare "Mental capacity" of Car Drivers by a subsidiary Task.
Ergonomics 4 (1) (1961): 35 - 40
- CAILLE, E.J., A. TITLI & J.C. BERTAILS: Über die Notwendigkeit erschöpfender Kriterien für die Stimulierung komplexer Steuerungsaufgaben. Untersuchung Nr. 24/67 (Franz. Forschungsbericht) 1967

- CLAUSS, G., & H. EBNER: Grundlagen der Statistik für Psychologen, Pädagogen und Soziologen, Verlag Harri Deutsch, Frankfurt a. Main und Zürich 1970
- COLES, M.G.H.: Cardiac and respiratory activity during visual search.
J. Exp. Psychol. 96 (1972) 361 - 379
- CORNSWEET, T.N.: Visual perception.
Academic Press, New York - London 1971
- DANEV, S.G., G.F. WARTNA, B. BINK, I.J. RADDER & I. LUTEYN: Psychophysiological assessment of information load.
Ned. T. Psychol. 26 (1971): 23 - 39
- EPSTEIN, S., & S. CLARKE: Heart rate and skin conductance during experimentally induced anxiety: Effects of anticipated intensity of noxious stimulation and experience.
J. Exp. Psychol. 84 (1970): 105 - 112
- ETTEMA, J.H.: Arbeidsfysiologische Aspecten van Mentale Belasting.
Van Gorcum, Assen 1967
- FIRTH, A.P.: Psychological factors influencing the relationship between cardiac arrhythmia and mental load.
Ergonomics 16 (1973): 5 - 16
- GANONG, W.F.: Medizinische Physiologie, 3. Auflage, Übersetzt und bearbeitet von W. AUERSWALD, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1974
- GOLDWATER, B.C.: Psychological significance of pupillary movements. Psychol. Bull. 77 (1972): 340 - 355
- GÖPFERT, H.A., BERNSHEIMER & R. STUFLER: Über die Steigerungen des Energiestoffwechsels und der Muskelinnervation bei geistiger Arbeit.
Pflügers Arch. 256 (1953): 304 - 320
- GORDON, I.E., & M. WINWOOD: Searching through letter arrays.
Ergonomics 16 (1973): 177 - 188
- GRESS, E., W. EHRENSTEIN & W. MUELLER-LIMMROTH: Arbeitsphysiologische Studien zur Frage der Objektivierbarkeit der Belastung eines Menschen bei automatisierter Tätigkeit. in: Soziale Probleme der Automation in Bayern 13. St.-Min. f. Arbeit u. soz. Fürsorge, München 1969

- HARTMAN, E.: Beleuchtung und Sehen am Arbeitsplatz.
Wilhelm Goldmann, München 1970
- HESS, E.H., & J.M. POLT: Pupil size as related to interest
value of visual stimuli.
Science 132 (1960): 349 - 350
- HOFFMAN, A.C.: Eye-movements during prolonged reading.
J. exper. Psychol. 36 (1946): 95 - 118
- JÄNIG, W.: Das vegetative Nervensystem.
in: Grundriß der Neurophysiologie,
hrsg. von R.F. SCHMIDT
Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-
New York 1972; 255 - 303
- KALSBECK, H.W.H.: Mentale Belastung.
Van Gorcum, Assen 1967
- KALSBECK, J.W.H.: Do you believe in sinus arrhythmia?
Ergonomics 16 (1973): 99 - 104
- KALSBECK, J.W.H., & J.H. ETTEMA: Scored regularity of the
heart rate pattern and the measure-
ment of perceptual of mental load.
Ergonomics 6 (1973): 306
- KALSBECK, J.W.H., & R.N. SYKES: Objective measurement of
mental load.
Acta psychol. (Amst.) 27 (1967):
253 - 261
- KEIDEL, D.: Kurzgefaßtes Lehrbuch der Physiologie, 3. Aufl.
Georg-Thieme-Verlag, Stuttgart 1973
- KLINGER, K.: Die Objektivierung des Einflusses von Belastung
und Beanspruchung auf einen Infor-
mationsaufnahme-prozeß des Menschen
mit Hilfe von akustisch evozierten
Potentialen.
Dissertation, Inst. f. Arbeitsphysio-
logie der Technischen Universität
München 1972
- KOEPCHEN, H.P.: Kreislaufregulation
in: Physiologie des Menschen, Hrsg.:
GAUER, KRAMER, JUNG, Bd. 3
Urban & Schwarzenberg, München-Ber-
lin-Wien 1972: 327 - 400
- KOEPCHEN, H.P., & K. THURAU: Über die Entstehungsbedingungen
der atemsynchronen Schwankungen des
Vagustonus (Respiratorische Arrhyth-
mie). Pflügers Arch. ges. Physiol.
296 (1959): 10 - 30

- KRETSCHMER, W.: Kavain als Psychopharmakon.
Münchner Med. Wochenschrift 112 (1970):
154 - 158
- KRETSCHMER, W.: Psychische Wirkungen von Kavain.
Münchner Med. Wochenschrift 116 (1974):
741 - 742
- KRYPSIN-EXNER, K: Wirkung von Kavain bei Alkoholkranken
in der Entziehungsphase.
Münchner Med. Wochenschrift 116 (1974):
1557 - 1560
- KRUEGER, H.: Untersuchung zum Konvergenz-Akkomodations-
Pupillen-Regelkreis des menschlichen Auges
mit einem kontinuierlich aufzeichnenden
Pupillo- und Akkomodometer.
Dissertation, Inst. f. med. Optik d. Univ.
München 1968
- KRUEGER, H.: Experimentelle Untersuchungen zur Beurteilung
verschiedener Schriftarten.
Habilitationsschrift, Inst. f. Arbeits-
physiol. der Technischen Universität Mün-
chen 1974
- LAUBER, H.: Pupillometrische Versuche bei Anwendung von
Psychopharmaka.
Med. Welt 18 (N.F.) (1967): 572 - 576
- LAUBER, H.: Die Wirkung von Psychopharmaka auf die mens-
chliche Pupille.
in: DODT, E., & K.E. SCHRADER: Die nor-
male und die gestörte Pupillenbewegung.
J. F. Bergmann, München 1973
- LEHMANN, G.: Handbuch der gesamten Arbeitsmedizin Bd. 1:
Arbeitsphysiologie
Urban & Schwarzenberg, Berlin-München-Wien
1961: 1 - 9
- LEHMANN, G.: Praktische Arbeitsphysiologie,
Georg-Thieme-Verlag, Stuttgart 1962
- LEVI, L.: Streß - Körper, Seele und Krankheit.
Musterschmidt-Verlag, Göttingen-Berlin-
Frankfurt-Zürich 1964
- LIBBY, W.L.jr., B.C. LACEY & J.I. LACEY: Pupillary and
cardiac activity during visual attention.
Psychophysiology 10 (1973): 270-294

- LUCZAK, H., & W. LAURIG: An analysis of heart rate variability. *Ergonomics* 16 (1973): 85 - 97
- LULLIES, H.: Stimme und Sprache, in: Physiologie des Menschen, Hrsg.: GAUER, KRAMER, JUNG Bd. 12, S. 215 - 257
Urban & Schwarzenberg, München-Berlin-Wien 1972
- MEYER, H.J., & R. KRETSCHMAR: Kava-Pyrone - eine neuartige Substanzgruppe zentraler Muskelrelaxantien vom Typ des Mephensesins.
Klin. Wochenschrift 44 (1966) 902 - 903
- MULDER, G., & W.R.E.H. MULDER-HAJONIDES van der MEULEN: Mental load and the measurement of heart rate variability. *Ergonomics* 16 (1973): 69 - 83
- MULDER, G., & W.R.E.H. MULDER-HAJONIDES van der MEULEN: Heart rate variability in a binary choice task: an evaluation of some scoring methods.
Acta psychol. (Amst.) 36 (1972): 239 - 251
- MÜLLER, ADLER & H. STRASSER: Arbeitsphysiologische Untersuchungen in Mensch-Maschine-Systemen zur Ermittlung der mentalen Belastung.
Inst. f. Arbeitsphysiologie der Technischen Universität München 1976
- MUELLER-LIMMROTH, W.: Die physiologischen Grundlagen der Anforderungen im Straßenverkehr.
in: Handbuch der Verkehrsmedizin, Hrsg.: WAGNER, K., & H. WAGNER, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1968
- MUELLER-LIMMROTH, W.: Ermüdung und Versagen vom physiologischen Standpunkt.
Hefte zur Unfallheilkunde 102 (1970): 216 - 231
- MUELLER-LIMMROTH, W.: Berufsberatung in arbeitsphysiologischer Sicht.
Byk Gulden, Pharmazeutica Konstanz 1972
- MUELLER-LIMMROTH, W., & K. KLINGER: Veränderungen evozierter Potentiale während verschiedener mentaler Belastungssituationen.
Wehrmed. Mschrft. 16 (1972): 331 - 337
- MUELLER-LIMMROTH, W., & H. KRUEGER: Untersuchung zur Wirkung des Tages-Antihistaminicums Omeril auf die motorische Reaktions- und mentale Verarbeitungszeit. Inst. f. Arbeitsphysiol., Techn. Univ. München 1975

- MUELLER-LIMMROTH, W., & E. SCHWALM: Versuch einer algopu-
pillometrischen Bestimmung analgetischer
Pharmaka-Wirkungen beim Menschen.
Klin. Wschrft. 42 (1964): 457 - 458
- OPMEER, C.H.J.M.: The information content of successive
RR-interval-times in the ECG. Preliminary
results using factor analysis and frequen-
cy analysis.
Ergonomics 16 (1973): 105 - 112
- PATTON, G.W.R.: Tachistoscopic recognition thresholds as a
function of arousal level, Journal of Ex-
perimental Psychology, Vol. 78 No. 2
(1968): 354 - 356
- PRATT, R.W.: Cognitive processing of uncertainty: Its
effect on pupillary dilatation and pre-
ference ratings. Perception & Psychophy-
sics 8 (1970): 193 - 198
- REED, S.K.: Psychological process in pattern recognition.
Academic Press, New York-London 1973
- ROHMERT, W., W. LAURIG, U. PHILIPP & H. LUCZAK: Heart rate
variability and work-load measurement.
Ergonomics 16 (1973): 33 - 44
- ROHMERT, W., & H. LUCZAK: Zur ergonomischen Beurteilung in-
formatorischer Arbeit.
Int. Z. angew. Physiol. 31 (1973): 209 -
229
- SAYERS, B.McA.: Analysis of heart rate variability.
Ergonomics 16 (1973): 17 - 32
- SCHMIDTKE, H.: Ergonomie I, Grundlagen menschlicher Arbeit
und Leistung.
Carl Hanser Verlag, München 1973: 256 - 279
- SHERROD, D.R.: Lateral eye movements and reaction to persua-
sion. Perceptual & motor skills 35 (1972):
355 - 358
- SPERLING, G.: The information available in brief visual
presentations.
Psychol. Monogr. 74 (1960) No 11
- STRASSER, H.: Arbeitsphysiologische Untersuchungen zur
Objektivierung des Trackingverhaltens und
mentaler Beanspruchung sowie deren psycho-
pharmakologischen Modulierbarkeit.
Dissertation, Inst. f. Arbeitsphysiologie,
Technische Universität München 1972

- KOEPCHEN, H.P., & K. THURAU: Untersuchungen über Zusammenhänge zwischen Blutdruckwellen und Ateminnervation. Pflügers Arch. ges. Physiol. 267 (1958): 10
- STRASSER, H., W. MUELLER-LIMMROTH & K. KLINGER: Arbeitsphysiologische Untersuchungen zur Ermittlung der menschlichen Belastung im mechanisierten und automatisierten Arbeitsprozeß. Inst. f. Arbeitsphysiol., Technische Universität München 1973
- STRASSER, H.: Beurteilung ergonomischer Fragestellungen mit Herzfrequenz und Sinusarrhythmie (Indikatoren von mentaler Beanspruchung und Ermüdung). Int. Arch. Arbeitsmed. 32 (1974): 261 - 287
- TINKER, M.A.: Validity of frequency of blinking as a criterion of readability J. exp. psychol. 36 (1946): 453 - 460
- VOGT, J.J., M.T. MEYER-SCHWERTZ, B. METZ & R. FOEHR: Motor, thermal and sensory factors in heart rate variation: A methodology for indirect estimation of intermittent muscular work and environment heat loads. Ergonomics 16 (1973): 45 - 60
- WARTNA, G.G., S.G. DANEV & B. BINK: Heart rate variability and mental load. A comparison of different scoring methods. Pflügers Arch. 328 (1971): 261 - 263
- ZIMMERMANN, M.: Sensorisches System in: Grundriß der Neurophysiologie, Hrsg. SCHMIDT, R.F., Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1972: 210 - 245
- ZWAGA, H.J.G.: Psychophysiological reactions to mental tasks: Effort or stress? Ergonomics 16 (1973) 61 - 67

Herrn Professor Dr. med. W. Mueller-Limmroth möchte ich an dieser Stelle für die Überlassung des Themas meinen Dank aussprechen.

Außerdem danke ich allen Angehörigen des Instituts für Arbeitsphysiologie der Technischen Universität München für gute Zusammenarbeit und die freundliche Unterstützung.

Zu besonderem Dank bin ich Herrn Univ.-Doz. Dr.rer.nat. H. Krueger verpflichtet, der mir jederzeit mit Rat und Tat zur Seite stand.

LEBENS LAUF

geboren: am 25. 1. 1952 in Landshut

Vater: Georg Kell, Mälzereibesitzer

Mutter: Therese Kell, Hausfrau

Volksschule: 1958 - 1963 in Wörth/Isar

Gymnasium: 1963 - 1972 Besuch des Hans-Leinberger-Gymnasiums in Landshut

1972 Abitur

Studium: 1972 - 1978 Zahnmedizin an der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

1973 Vorphysikum

1975 Physikum

1978 Staatsexamen

Heirat: 30.12.1975 mit Rosmarie Neumeier, Beamtin

